

Aus dem Institut für Pflanzenbauwissenschaften

(FG Pflanzenernährung)

Direktor Prof. Dr. H. Peschke

**Wirkung verschiedener Blattdünger-Formulierungen
auf Wachstum und Ertragsbildung von *Phaseolus
vulgaris* bei verminderter N-, Mg- und
Mikronährstoffversorgung über die Wurzeln.**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor scientiarum agrariarum
[Dr. sc. agr.]

**der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät
der Humboldt-Universität zu Berlin**

vorgelegt von
Dipl.-Ing. agr. Antoine Mpabansi
aus Muyinga (BURUNDI)

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. E. Lindemann

Gedruckt mit Genehmigung der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät
der Humboldt-Universität zu Berlin.

Promotionsausschuß:

Vorsitzender: Prof. Dr. oec. Hans Eberhard Jahnke
1. Berichter: Prof. Dr. rer. nat. Hans-Werner Döring
2. Berichter: Prof. Dr. agr. Heinz Peschke
Weitere Prüfer: Prof. Dr. agr. Hans Pagel
Frau Dr. agr. Stefanie Mollenhauer

Eingereicht: 21.09.1998
Tag der Disputation: 21.01.1999

Von der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät
der Humboldt-Universität zu Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor scientiarum agrariarum *
[Dr. sc. agr.] genehmigte Dissertation

*

Gem. Ordnung für die Promotion zum Doktor der Agrarwissenschaften (Dr. sc. agr.) an der Technischen Universität Berlin vom 2. Oktober 1978 in Verbindung mit dem Gesetz zur Fusion der Fachbereiche Veterinärmedizin, Lebensmitteltechnologie und Agrarwissenschaft in Berlin (Fusionsgesetz – FusG) vom 23. Juni 1992.

Widmung

Meiner Familie
in Dankbarkeit gewidmet

Déo Bizimana
Juvénal Ndayikeza
Dr. Stany Ruzenza
Sylvestre Mpfayokurera

in memoriam

Kurzfassung:

„Wirkung verschiedener Blattdünger-Formulierungen auf Wachstum und Ertrag von *Phaseolus vulgaris* L. bei vermindertem N-, Mg- und Mikronährstoffangebot über die Wurzeln“

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, in Modellversuchen in Wasserkultur und im Festsubstrat sowohl elementspezifische (Mg-, FeMn- oder Zn-Mangel) als auch komplexe Nährstoffmangelsituationen (gleichzeitiger Mangel an Fe, Mn und Zn) zu simulieren und die Wirkung präventiver resp. kurativer Blattapplikationen auf Wachstum und Ertrag von Buschbohnenpflanzen zu untersuchen. Zusammengefaßt wurden folgende Ergebnisse erzielt.

Bei unzureichendem Mg- und Fe-Angebot sowie bei gleichzeitigem Mangel an Fe, Mn und Zn wurden das Wachstum und die Ertragsbildung hochsignifikant vermindert. Die Auswirkungen des Mg-Mangels auf Wachstum und Ertrag wurden durch die präventive Blattapplikation erfolgreich ausgeglichen. Die verwendeten Mikronährstoff-Formulierungen waren bei Fe-Mangel bzw. bei multipler Mikronährstoff-Unterversorgung, im Gegensatz zu Mn- bzw. Zn-Mangel, weniger wirksam. Aufgrund des Nährstoffmangels während der generativen Phase wurden die gebildeten Blüten und Hülsen abgeworfen. Den Mangelpflanzen ermöglichte die Blattapplikation erst die Hülsenbildung. Ausschlaggebend für die Höhe des Hülsenertrages war die Anzahl der gebildeten Hülsen, da das Hülsengewicht nicht wesentlich beeinflußt wurde.

Aufgrund des verminderten Nährstoffangebotes im Nährmedium nahm die Konzentration der betroffenen Nährstoffe im Blatt bis in den kritischen Grenzwertbereich ab. Mit Ausnahme der Fe-Mangelvarianten wirkte die Blattdüngung dieser Abnahme der Nährstoffkonzentration erfolgreich entgegen. Hinsichtlich Wachstum Ertragsbildung und Nährstoffaufnahme wurden, sowohl bei den Mg- als auch bei den Mikronährstoff-Blattdüngern keine von der Zusammensetzung abhängigen Wirksamkeitsunterschiede festgestellt. Bezüglich der untersuchten Parameter des Wachstums und der Ertragsbildung erwies sich die präventive Mg-Blattapplikation der kurativen gegenüber als hochsignifikant überlegen. Derart deutliche Wirksamkeitsunterschiede in Abhängigkeit vom Applikationszeitpunkt blieben bei den Mikronährstoff-Blattdüngern aus.

Ein Mg- und Mikronährstoffangebot von 10% im Jugendstadium konnte ein ungestörtes vegetatives Wachstum der Pflanzen gewährleisten. Eine Mg- bzw. Mikronährstoff-Unterversorgung der Pflanzen während der generativen Phase bewirkte einen Rückgang des Samenertrages von über 60% bis 80%. Mit Hilfe der Blattapplikationen während der generativen Phase wurde der Abwurf der reproduktiven Organe hochsignifikant vermindert. Dadurch konnten über 90% des Samenertrages der Kontrolle erreicht werden.

Ungeachtet einer erfolgreichen Impfung mit *Rhizobium* blieben die Pflanzen ohne N-Startdüngung im Vergleich zu einer Startdüngung mit einer Äquivalentmenge von 40 kg N/ha bei Wachstum und Ertragsbildung hochsignifikant zurück. Gemessen am Samenertrag konnten die Auswirkungen des N-Mangels im Jugendstadium durch eine Nachdüngung zu Blühbeginn nicht mehr ausgeglichen werden. Durch die Kombination Nachdüngung zu Blühbeginn und Blattapplikation während der Kornfüllungsphase wurde die Abscission von reproduktiven Organen signifikant vermindert und die höchste Ertragswirksamkeit erzielt.

Unabhängig von den Behandlungen lag der Rohproteingehalt der Samen bei 20%. Auch die anderen Nährstoffe der Samen lagen im normalen Konzentrationsbereich für Buschbohne.

Schlagworte: Blattdüngung, Mg-Mangel, Mikronährstoff-Mangel, DRIS-Indizes, *Phaseolus*-Bohne

Abstract:

“Effect of various foliar fertilizer formulations on growth and yield of *Phaseolus vulgaris* L. suffering from insufficient root supply of nitrogen, magnesium and micronutrients”

The aim of this study was to simulate as well specific (Mg-, Fe-, Mn- and Zn-deficiency) as complex nutrient deficiency situations in model systems using either nutrient solution or solid substrates and to investigate the effect of preventive or curative applications of foliar fertilizers on growth and yield of bean plants. Results may be summarized as follows:

Insufficient supply of magnesium and iron or simultaneous deficiency in Fe, Mn and Zn resulted in highly significant reduction of growth and yield of bean plants. Effect of magnesium deficiency on growth and yield could be successfully compensated by preventive foliar fertilization. The applied micronutrient compounds were less successful in the case of iron deficiency or multiple micronutrient deficiency situations as compared to manganese or zinc deficiency. Nutrient deficiency during the generative phase resulted in dropping of flowers and pods. In deficient plants leaf fertilizer application was a precondition for pod formation. Since pod weight was not substantially affected by plant nutrition pod number was the decisive factor for pod yield.

As a result of reduced nutrient supply in the substrates leaf concentration of investigated nutrients declined below critical deficiency levels. With exception of the Fe-deficiency variants application of foliar fertilizers successfully compensated for the decrease in leaf nutrient concentrations. The composition of Mg and micronutrient foliar fertilizers did not affect significantly plant growth, yield and nutrient uptake. For the investigated parameters of growth and yield formation preventive foliar application of magnesium fertilizers was significantly more effective as compared to curative application. Such distinctive differences in fertilizer effects with time of application could not be found in micronutrient fertilizers.

Mg and micronutrient supply of as low as 10% of optimal supply during juvenile growth phase could guarantee undisturbed vegetative growth. Drastic decrease of magnesium or micronutrient supply during the reproductive phase resulted in a reduction of pod yield up to 60 – 80%. Foliar fertilizer application during the reproductive development significantly reduced dropping of reproductive organs and thus seed yields of more than 90% of control were achieved.

Nevertheless after a successful inoculation with *Rhizobium* plants without a nitrogen start dressing had significantly lower growth and yields than those with a starter fertilization of 40 kg N/ha. With regard to seed yield the effects of nitrogen deficiency during the juvenile phase could not be compensated by late fertilization at the flowering stage. The combination of a late fertilization at the flowering stage and leaf application during pod filling resulted in decreased pod abscission and therefore in highest yields. Independently of treatments the raw protein content of the bean seeds approximated to 20%. Also other nutrients in the seeds were in the adequate range for *Phaseolus* bean.

Keywords: Foliar fertilization, Mg deficiency, Micronutrient deficiency, DRIS-Indexes, *Phaseolus* bean

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Verwendete Abkürzungen.....	XI
1 Einleitung	I
2 Literaturauswertung	2
2.1 Notwendigkeit der Intensivierung des Ackerbaus	4
2.2 Optimierung der Nährstoffversorgung durch Blattapplikation.....	10
2.3 Einflußfaktoren bei der Blattdüngung.....	14
3 Fragestellung	20
4 Material und Methoden.....	21
4.1 Kurzzeitversuche.....	21
4.1.1 Vorkultur	21
4.1.2 Behandlung	22
4.1.2.1 Nährstoffangebot über die Wurzel	22
4.1.2.2 Nährstoffangebot über das Blatt	23
4.1.2.3 Ernte und Probenaufbereitung	25
4.2 Langzeitversuche	26
4.2.1 Versuchssubstrat und Versuchsbedingungen.....	26
4.2.2 Versuchsdurchführung	27
4.2.2.1 Nährstoffangebot über das Blatt bei vermindertem Mg- resp. Mikronährstoff-Angebot.....	28

II

4.2.2.2	Nährstoffangebot über das Blatt bei unterschiedlicher N-Versorgung	29
4.2.2.3	Ernte und Probenaufbereitung	30
4.3	Chemische Analysen.....	31
4.4	Berechnung der DRIS-Indizes	32
4.5	Statistische Auswertung.....	34
5	Ergebnisse	35
5.1	Kurzzeitversuche.....	35
5.1.1	Mg-Mangel.....	35
5.1.1.1	Ausbildung von Mangelsymptomen	35
5.1.1.2	Nährstoff- und Chlorophyllgehalt der Blätter	38
5.1.1.3	Vegetatives Wachstum.....	39
5.1.1.4	Generative Entwicklung und Biomasseproduktion.....	42
5.1.1.5	Nährstoffaufnahme und Nährstoffverteilung	45
5.1.2	Multipler Mikronährstoffmangel	54
5.1.2.1	Ausbildung von Mangelsymptomen	54
5.1.2.2	Nährstoff- und Chlorophyllgehalt der Blätter	58
5.1.2.3	Vegetatives Wachstum.....	60
5.1.2.4	Generative Entwicklung und Biomasseproduktion.....	63
5.1.2.5	Nährstoffaufnahme und Nährstoffverteilung	66
5.1.3	Elementspezifischer Mikronährstoffmangel	75
5.1.3.1	Ausbildung von Mangelsymptomen	75
5.1.3.2	Nährstoff- und Chlorophyllgehalt der Blätter	77
5.1.3.3	Vegetatives Wachstum.....	79
5.1.3.4	Generative Entwicklung und Biomasseproduktion.....	81

III

5.1.3.5	Nährstoffaufnahme und Nährstoffverteilung	84
5.1.4	DRIS-Indizes.....	101
5.2	Langzeitversuche	105
5.2.1	Vermindertes Mg- resp. Mikronährstoff-Angebot.....	105
5.2.1.1	Vegetatives Wachstum.....	105
5.2.1.2	Generative Entwicklung und Ertragsbildung	106
5.2.2	Blattapplikation bei unterschiedlicher N-Versorgung	113
5.2.2.1	Vegetatives Wachstum.....	115
5.2.2.2	Generative Entwicklung und Ertragsbildung	118
5.2.3	Samenqualität.....	123
6	Diskussion.....	128
6.1	Entwicklung von Mangelsymptomen	129
6.1.1	Mg-Mangelsymptome	129
6.1.2	Mikronährstoff-Mangelsymptome	135
6.2	Veränderung des Mineralstoffprofils	144
6.2.1	Veränderung des Nährstoffprofils bei Mg-Mangel.....	145
6.2.2	Veränderung des Nährstoffprofils bei Mikronährstoff-Mangel.....	146
6.3	Nährstoffangebot und Nährstoffverwertung	154
6.3.1	Nährstoffverwertung in Abhängigkeit vom Mg- resp. Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln und der Blattapplikation	155
6.3.2	Nährstoffverwertung in Abhängigkeit von der N ₂ -Bindung und der Blattapplikation	160

IV

6.4	Qualität der Ernteprodukte.....	163
7	Zusammenfassung.....	166
7.1	Kurzzeitversuche.....	167
7.2	Langzeitversuche	169
8	Literaturverzeichnis	171

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Anfangsstadium von Mg-Mangelsymptomen bei Buschbohne 8 Tage nach Behandlungsbeginn.....	36
Abb. 2:	Mg-Mangelsymptome bei Buschbohne (Nahaufnahme).....	36
Abb. 3:	Ausprägung von Mg-Mangelsymptomen bei Buschbohne und die Wirkung präventiver bzw. kurativer Blattdüngungsmaßnahmen.	37
Abb. 4:	Ausprägung von Mg-Mangelsymptomen bei kurativ behandelten Mg-Mangelpflanzen (Nahaufnahme).....	37
Abb. 5:	Wirkung der Blattapplikation auf die Wuchshöhe und die Blattfläche von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln.	40
Abb. 6:	Wirkung der Blattapplikation auf die Stengel- und Wurzeltrockenmasse von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln.	41
Abb. 7:	Wirkung der Blattapplikation auf die Hülsenbildung (Anzahl der Hülsen je Pflanze) von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln.	43
Abb. 8:	Wirkung der Blattapplikation auf den Hülsenertrag und die Gesamtbiomasse von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln.	44
Abb. 9:	Anfangsstadium von Mikronährstoff-Mangelsymptomen bei Buschbohne 8 Tage nach Behandlungsbeginn..	56
Abb. 10:	Mikronährstoff-Mangelsymptome bei Buschbohne (Nahaufnahme).....	56
Abb. 11:	Ausprägung von Mikronährstoff-Mangelsymptomen bei Buschbohne und die Wirkung präventiver bzw. kurativer Blattdüngungsmaßnahmen.....	58
Abb. 12:	Wirkung der Blattapplikation auf die Wuchshöhe und die Blattfläche von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.	61

VI

Abb. 13:	Wirkung der Blattapplikation auf die Stengel- und Wurzeltrockenmasse von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.....	62
Abb. 14:	Wirkung der Blattapplikation auf die Hülsenbildung (Anzahl der Hülsen je Pflanze) von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.....	64
Abb. 15:	Wirkung der Blattapplikation auf den Hülsertrag und die Gesamtbiomasse von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.....	65
Abb. 16:	Ausprägung von Mangelsymptomen bei Buschbohne unter Mikronährstoff-Mangel 7 Tage nach Behandlungsbeginn.	76
Abb. 17:	Einfluß verminderter Mg- resp. Mikronährstoff-Unterversorgung auf das vegetative Wachstum inokulierter Buschbohnenpflanzen.	105
Abb. 18:	Wirkung der Blattapplikation auf die Hülsen- und Samenbildung von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.....	108
Abb. 19:	Wirkung der Blattapplikation auf die Hülsen- und Samenbildung von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.	109
Abb. 20:	Wirkung der Blattapplikation auf den Samenertrag und die Gesamtbiomasse von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.....	110
Abb. 21:	Wirkung der Blattapplikation auf den Samenertrag und die Gesamtbiomasse von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.....	111
Abb. 22:	Wirkung unterschiedlicher N-Düngung und der Blattapplikation auf die Wuchshöhe und die Blattfläche inokulierter Buschbohnenpflanzen.	117

VII

Abb. 23:	Wirkung unterschiedlicher N-Düngung und der Blattapplikation auf die Blütenbildung inokulierter Buschbohnenpflanzen.	119
Abb. 24:	Wirkung unterschiedlicher N-Düngung und der Blattapplikation auf die Hülsen- und Samenbildung inokulierter Buschbohnenpflanzen.	120
Abb. 25:	Wirkung unterschiedlicher N-Düngung und der Blattapplikation auf den Samenertrag und die Gesamtbiomasse inokulierter Buschbohnenpflanzen.	122

VIII

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Grenzkriterien für eine sinnvolle Pflanzenproduktion auf der Landfläche der Erde	2
Tab. 2:	Wichtige Einflußfaktoren bei der Nährstoffaufnahme über das Blatt.	15
Tab. 3:	Geschwindigkeit der Nährstoffaufnahme über das Blatt.	16
Tab. 4:	Zusammensetzung der Nährlösung in der Endkonzentration.	21
Tab. 5:	Zusammensetzung der verwendeten Blattdünger.	24
Tab. 6:	Behandlungsübersicht zur Wirkung der Blattapplikation bei vermindertem Mg- resp. Mikronährstoff- Angebot über die Wurzeln.	24
Tab. 7:	Behandlungsübersicht zur Wirkung der Blattapplikation bei elementspezifisch vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.	25
Tab. 8:	Nährstoffstatus des Versuchsbodens.	27
Tab. 9:	Behandlungsübersicht zur Wirkung der Blattapplikation bei vermindertem Mg- resp. Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.	28
Tab. 10:	Behandlungsübersicht zur Wirkung der Blattapplikation bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung.	30
Tab. 11:	Wirkung der Blattapplikation auf den Mg- und Chlorophyllgehalt der Blätter von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln.	38
Tab. 12:	Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Blätter von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln.	46
Tab. 13:	Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Wurzeln von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln	49
Tab. 14:	Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Hülsen von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln	51

IX

Tab. 15:	Wirkung der Blattapplikation auf die Gesamtnährstoffaufnahme (gesamte Menge an Makro- bzw. Mikronährstoffen je Pflanze) von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln.	53
Tab. 16:	Wirkung der Blattapplikation auf den Mikronährstoff- und Chlorophyllgehalt der Blätter (unfraktioniert) von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln	59
Tab. 17:	Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Blätter von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.	68
Tab. 18:	Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Wurzeln von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.	70
Tab. 19:	Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Hülsen von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.	72
Tab. 20:	Wirkung der Blattapplikation auf die Gesamtnährstoffaufnahme (gesamte Menge an Makro- bzw. Mikronährstoffen je Pflanze) von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln	74
Tab. 21:	Wirkung der Blattapplikation auf den Mikronährstoff- und den Chlorophyllgehalt von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln	78
Tab. 22:	Wirkung der Blattapplikation auf einige ausgewählte Parameter des vegetativen Wachstums von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln	80
Tab. 23:	Wirkung der Blattapplikation auf einige ausgewählte Parameter der Ertragsbildung von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff -Angebot über die Wurzeln	82
Tab. 24:	Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Blätter von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.	85

X

Tab. 25:	Wirkung der Blattapplikation auf den Gesamtnährstoffgehalt der Blattfraktion von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln	88
Tab. 26:	Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Wurzeln von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln	91
Tab. 27:	Wirkung der Blattapplikation auf den Gesamtnährstoffgehalt (relative Werte) der Wurzelfraktion von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.	95
Tab. 28:	Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Hülsen von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.	96
Tab. 29:	Wirkung der Blattapplikation auf die Gesamtnährstoffaufnahme (gesamte Menge an Makro- bzw. Mikronährstoffen je Pflanze) von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.	99
Tab. 30:	DRIS-Indizes der Buschbohne unter Einfluß verminderten Mg- resp. Mikronährstoff-Angebotes über die Wurzeln in Verbindung mit der Blattapplikation..	102
Tab. 31:	DRIS-Indizes der Buschbohne unter Einfluß verminderten Mikronährstoff-Angebotes über die Wurzeln in Verbindung mit der Blattapplikation..	103
Tab. 32:	Wirkung der Rhizobien-Impfung und der N-Düngung auf einige ausgewählte Parameter des vegetativen Wachstums und der Ertragsbildung von Buschbohne	114
Tab. 33:	Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Samen von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.....	124
Tab. 34:	Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Samen von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die wurzeln während der generativen Phase.....	126
Tab. 35:	Wirkung unterschiedlicher N-Düngung derBlattapplikation auf den Nährstoffgehaltder Samen von Buschbohne inokulierter Buschbohnepflanzen.	127

Verwendete Abkürzungen

ADP	Adenosindiphosphat
ATP	Adenosin-5'-triphosphat
BD	Blattdüngung
DRIS	Diagnosis and Recommendation Integrated System
EDTA	Ethylendiamidtetraacetat
GD	Grenzdifferenz
HS	Harnstoff
kur. BD	kurative Blattdüngung
Mikro 1	Mikronährstoff-Blattdünger Wuxal 91534
Mikro 2	Mikronährstoff-Blattdünger Wuxal 91543 + 0,2% Harnstoff
Mg 1	Mg-Blattdünger Wuxal SD 1525
Mg 2	Mg-Blattdünger Wuxal SD 1390
NADP	Nicotinsäureamidadenindinukleotidphosphat
NL	Nährlösung
prä. BD	präventive Blattdüngung
SD	Standard Deviation (Standardabweichung)
SOD	Superoxiddismutase
TKG	Tausendkorngewicht
TNA	Tage nach Auflaufen
TS	Trockensubstanz
w/w	weight/weight

1 Einleitung

In Verbindung mit boden- und klimabedingten Gegebenheiten arider und semiarider Standorte (Salinität, Alkalinität, Wassermangel) hat sich die Blattapplikation zur Vorbeugung oder Behandlung insbesondere durch Mikronährstoffmangel bedingter Ernährungsstörungen bei Nutzpflanzen bewährt (ABD EL HADI, 1986; ALEXANDER, 1986; DÖRING und GERICKE, 1986; DÖRING, 1987; EL-FOULY und AMBERGER, 1988; EL-FOULY, 1990; PAPASTYLIANOU, 1990; MORTVEDT, 1991; GERICKE, 1994; MENGEL, 1994a; MODAIHSH, 1997; YILMAZ et al., 1997). Weniger verbreitet ist dieses Düngungsverfahren in den feuchten Gebieten der Tropen und Subtropen. Unter bestimmten Bedingungen wäre die Blattapplikation auch hier empfehlenswert.

Böden der humiden Tropen weisen einen hohen Verwitterungs- und Auswaschungsgrad sowie einen niedrigen pH-Wert auf und sind u. a. verarmt an Ca und Mg. Bei gegebener hoher Niederschlagsintensität kann die Aufkalkung solcher Böden mit CaCO_3 als Meliorationsmaßnahme deren Mg-Verarmung verstärken und die Gefahr eines Mg-Mangels für die angebauten Nutzpflanzen erhöhen. Vor diesem Hintergrund stellt sich nun die Frage, ob durch eine Mg-Blattapplikation in Verbindung mit einer Düngungs- oder Meliorationskalkung die Ertragswirksamkeit letzterer erhöht werden könnte.

Anzustreben wäre hierbei eine Mg-Blattapplikation in Kombination mit Mikronährstoffen, da oft der Aufkalkungseffekt nicht nur aufgrund des Mg-Mangels ausbleibt, sondern auch sog. Überkalkungsschäden infolge der Mikronährstoff-Unterversorgung auftreten (PAGEL, 1982; FINCK, 1986). In Ergänzung zur Kalkung wären von der Blattapplikation von Mg-Formulierungen insofern Erfolge zu erwarten, als der Mg-Entzug durch die Pflanzen, von einigen Ausnahmen wie Bananen, Zuckerrohr, Ölpalme oder Ananas (PAGEL et al., 1982; ANONYM, 1984) abgesehen, nicht besonders hoch ist.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, in Modellversuchen N-, Mg- und Mikronährstoff-Mangelsituationen zu simulieren und die Wirkung verschiedener Blattdünger-Formulierungen zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien von *Phaseolus vulgaris* L. 'PRELUDE' zu untersuchen.

2 Literaturauswertung

Aus einer 1983 von MUTERT und RECKE zur Lage des Ackerflächenpotentials der Erde erstellten Studie geht hervor, daß fast 80% der Landfläche nicht ackerfähig sind, weil entweder klimatische Faktoren oder Bodeneigenschaften eine auf hohe Erträge orientierte Pflanzenproduktion einschränken (Tab. 1).

Tab. 1: Grenzkriterien für eine Pflanzenproduktion auf der Landfläche der Erde. (BURINGH, 1982, zit. nach MUTERT und RECKE, 1983).

Grenzkriterium		Anteil an der Gesamtfläche		
		Mio. ha	%	
nicht ackerfähig	weil:			
Mio. ha	%			
3725	32	eisbedeckt	1490	10
		zu kalt	2235	15
4023	35	zu steil	2682	18
		zu flachgründig	1341	9
3874	33	zu trocken	2533	17
		zu naß	596	4
		zu nährstoffarm	745	5
11622	100	11622	78	
ackerfähig mit ...	Produktivität			
Mio. ha	%	Mio. ha	%	
1937	59	geringer	1937	13
894	27	mittlerer	894	6
447	14	hoher	447	3
3278	100	3278	22	
		14900	100	

Diese Angaben bestätigte eine neuere Studie von UEXKÜLL und MUTERT (1995). Danach gelten nur ca. 24% der Gesamtfläche der Erde als ackerfähig. Diesen begrenzten und immer knapper werdenden ackerbaulich nutzbaren Flächen steht die ständig wachsende Weltbevölkerung gegenüber.

Verschiedenen Langzeitprognosen zur Entwicklung der Weltbevölkerung zufolge wird diese von ca. 6 Milliarden heute in den nächsten 20 bis 30 Jahren auf ca. 9 Milliarden Menschen steigen (WOLFF, 1995; PEOPLES et. al., 1995; COPPER et al., 1996; ANONYM, 1998). Die Zahl der Hungernden und Unterernährten wird heute weltweit auf 700 bis 800 Mio. geschätzt. Bis zur Jahrhundertwende werden mehr als eine Milliarde Menschen betroffen sein. Alle diese Menschen ausreichend mit Nahrungsmitteln zu versorgen, gilt als die große Herausforderung der Landwirtschaft der nächsten drei Dekaden (WEINSCHENK, 1995; HERRMANN, 1996; EL BASSAM, 1998). Da zwischen 80% und 90% der Weltbevölkerung in den Entwicklungsländern leben (WOLFF, 1995; COOPER, et al., 1996; SCHUG et al., 1996), wird die Überwindung des Hungers künftig in besonderem Maße von dem Zuwachs der Leistungsfähigkeit der tropischen und subtropischen Landwirtschaft abhängen.

Das Nahrungsmitteldefizit in den Entwicklungsländern ist polyfaktoriell bedingt. Über die für den Pflanzenbau ungünstigen Boden- und Klimagegebenheiten hinaus, an denen der Mensch nicht viel ändern kann, sind die weitaus tieferen Ursachen für den seit den 70er Jahren chronisch gewordenen Nahrungsmittelmangel anthropogen bedingt. Der Mangel an Investitionsmitteln, fehlendes Know-how, fehlende Produktionsanreize aufgrund der bestehenden agrarpolitischen Rahmenbedingungen, die Eigentumsverhältnisse am Hauptproduktionsmittel Boden, Bürgerkriege, u.a. sind Faktoren, die zur Nahrungsmittelknappheit führen.

Das Problem Nahrungsmitteldefizit in den Entwicklungsländern ist unter anderem ein Problem der Armut, eine Frage der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung (WEINSCHENK, 1995). "Menschen hungern, weil sie arm sind, und das gilt für einzelne, für Familien und Haushalte, für Regionen und Staaten im internationalen Vergleich" (KIRSCHKE, 1993). Nach dem Autor nimmt der Selbstversorgungsgrad der Bevölkerung mit steigendem Pro-Kopf-Einkommen zu.

In der Diskussion zu der Frage, wie die Ernährung der wachsenden Bevölkerung in den Entwicklungsländern sichergestellt werden könnte, muß deshalb betont werden, daß neben den Maßnahmen zur Verlangsamung des Bevölkerungswachstums eine intensivere Bodenbewirtschaftung eine zwingende Notwendigkeit ist.

Zur Steigerung der Agrarproduktion stehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Verfügung, nämlich die Ausdehnung der Anbaufläche durch die Urbarmachung neuer Areale bzw. die Wiedergewinnung degradierter Flächen (z. B. erodierte oder versalzte Böden) und die Intensivierung der Produktion. Während in den Industrienationen seit der Mitte dieses Jahrhunderts die Erträge durch Intensivierungsfaktoren wie den Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln, Einführung von Hochleistungssorten von Nutzpflanzen und Bewässerung, erheblich gesteigert werden konnten, wurden die in vielen Entwicklungsländern erzielten Steigerungen der Agrarproduktion zum großen Teil durch die Ausdehnung der Anbauflächen erreicht (PRINZ, 1986).

Bis zum Jahre 2010 rechnet die FAO mit einer Ausdehnung der Anbaufläche von etwa 10% (ANONYM, 1993). Während von der Ausdehnung der Anbauflächen und der Erhöhung der Anbauintensität (Mehrfachernte auch multiple cropping genannt) ein Beitrag von ca. 20% zur Steigerung der Nahrungsmittelerzeugung zu erwarten ist, wird diese zu 80% über die Intensivierung der Produktion (Steigerung der Erträge je Flächeneinheit) geschehen (ANONYM, 1987; ANONYM, 1993).

Bei dieser Herausforderung kommt der Düngung aufgrund deren hohen Erzeugungswertes eine besondere große Bedeutung zu. Durch den Einsatz einer Düngermengeneinheit kann beispielsweise der Ertrag um 8 bis 12 Einheiten bei Getreide, um 4 bis 8 Einheiten bei Ölsaaten und um sogar 30 bis 50 Einheiten bei Knollenfrüchten gesteigert werden (SCHUG et al., 1996). Durch den Einsatz von Düngemitteln als Intensivierungsfaktor ist nicht nur eine Ertragssteigerung bis zu 50% erreichbar, sondern kann auch der Rückgang der Anbaufläche durch eine zusätzliche Düngung ausgeglichen werden (SCHMIDT, 1996).

2.1 Notwendigkeit der Intensivierung des Ackerbaus

Die Notwendigkeit einer intensiveren Landnutzung wird noch deutlicher, wenn die verfügbare Ackerfläche je Einwohner von weniger als 0,30 ha dem Flächenbedarf von 14 ha je Einwohner gegenübergestellt wird (EVANS, 1993). Das in vielen Entwicklungsländern ackerbaulich weit verbreitete Bodennutzungssystem ist der Wanderfeldbau, auch "shifting cultivation" genannt.

Nach vorsichtigen Schätzungen liegt die Zahl der Menschen, deren Lebensgrundlage die shifting cultivation ist, bei 300 Millionen, die weltweit auf einer 800 bis 1400 Millionen ha großen Fläche in den humiden Tropen und Subtropen siedeln (ANDRIESSE, 1989 zit. nach THENG, 1991).

Bei der shifting cultivation wird ein Stück Wald in der Regel manuell gerodet und die gefälltten Vegetationsbestandteile verbrannt. Auf der Brandfläche werden dann die gewünschten Kulturen gesät oder gepflanzt. Bereits nach drei bis fünf Ernten verliert der Boden derart an Ertragsfähigkeit, daß der Wanderfeldbauer die urbargemachte Ackerfläche aufgibt und ein neues Stück Land in Kultur nimmt. Als Ursache für das Absinken der Erträge gilt sicherlich die Abnahme der verfügbaren Nährstoffmenge (OBI, 1989; LAL und SINGH, 1995).

Weitere Ursachen für die Ertragseinbußen sind in der Verschlechterung einer Reihe von Bodeneigenschaften zu suchen, die damit das Pflanzenwachstum beeinträchtigen. Verantwortlich für die Abnahme der Standortsproduktivität unter dem Wanderfeldbau-System ist der Rückgang des Humusgehaltes, die Verwitterung des Muttergesteins und die Auswaschung oder Verlagerung der Verwitterungsprodukte in tiefere Bodenhorizonte, die Verschlechterung der Bodenstruktur mit Neigung zur Verkrustung und Kompaktzonenbildung, die Bodenerosion sowie die Nährstoffverluste durch Auswaschung und oberflächlichen Abtrag des Oberbodens (MBAVU et al., 1984a, MBAVU et al., 1984b; MBAVU, 1986; MANRIQUE, 1993a; UEXKÜLL und MUTERT, 1995; HARTEMINK et al., 1996; JUO et al., 1996a; JUO et al., 1996b; SCHUG et al., 1996).

So ist es nicht verwunderlich, daß der Reisertrag beispielsweise in Afrika unter 20 dt/ha erreicht werden. In Südamerika liegt er bei 25 dt/ha. Das sind 30% bis 40% weniger als der Weltdurchschnittsertrag von 35 dt/ha. Ein ähnliches Ertragsniveau ist bei anderen Kulturen zu beobachten. So beträgt der Maisertrag in Afrika und in Südamerika jeweils 16 dt/ha und 20 dt/ha. Das entspricht gerade 43% und 55% des Weltdurchschnittsertrages von 37 dt/ha. Bei Cassava, einer Knollenfrucht mit relativ geringem Nährstoffanspruch, werden in Afrika 82% und in Zentralamerika nur 46% des weltdurchschnittlichen Hektarertrages von 100 dt geerntet.

Aufgrund der demographischen Entwicklung kann die shifting cultivation, welche zur Sicherstellung der Nahrungsmittelversorgung von 10 bis 40 Menschen eine Ackerfläche bis zu 100 ha in Anspruch nimmt, nicht mit dem Bevölkerungswachstum Schritt halten. In dicht besiedelten Ländern der Tropen und Subtropen sind die Bodenreserven bereits heute derart aufgebraucht, daß zur Nahrungsmittelerzeugung auch marginale, ökologisch anfällige Standorte ackerbaulich genutzt werden müssen (FRANKE, 1992; SATTELMACHER et al., 1994; LAL und SINGH, 1995; HERRMANN, 1996).

Für die künftige Entwicklung der tropischen Landwirtschaft ist neben der Intensivierung der Produktion die Rehabilitierung und Nutzung der entwaldeten, aufgegebenen Standorte mit ihren sauren Böden von großer Bedeutung (MANRIQUE; 1993a; UEXKÜLL und MUTERT, 1995). Es besteht Einigkeit darüber, daß für eine nachhaltige Grundnahrungsmittelerzeugung die meisten tropischen Böden ohne Düngung über zu geringe Nährstoffreserven verfügen und schnell unproduktiv werden (MUTERT und RECKE, 1983; CAESAR, 1986; MANRIQUE, 1993a; LAL und SINGH, 1995; UEXKÜLL und MUTERT, 1995; HARTENMINK et al., 1996; FAGERIA und BALIGAR, 1997). Als wichtigste produktivitätsmindernde Faktoren können aufgeführt werden:

- Toxizität durch Überschuß an H^+ , Al- oder Mn-Ionen;
 - Nährstoffmangel durch Abnahme der Basensättigung und Konzentration in der Bodenlösung oder der Löslichkeit: Mangel an K, Ca und Mg oder an P und Mo;
- Nährstoff- und Wassermangel durch Hemmung von Wurzelwachstum und Wurzelaktivität sowie Störungen des Phytohormonhaushaltes (VOSE, 1983; FAGERIA und BARBOSA FILHO, 1987; FAGERIA, 1989; FAGERIA und DE SOUZA, 1991; MARSCHNER, 1992; FAGERIA et al., 1995; HORST, 1995; FAGERIA und BALIGAR, 1997).

Eine umfassende Strategie zur ackerbaulichen Nutzung dieser Böden muß deshalb sowohl der Bodenazidität als auch dem Nährstoffdefizit Rechnung tragen. Hierfür schlagen UEXKÜLL und MUTERT (1995) einen dreiphasigen Plan vor, der wie folgt aussehen könnte:

1) In der ersten Phase ginge es um die Schaffung einer Pflanzendecke mit Leguminosen und mit Hilfe der Kalkung und der P-Düngung die Anreicherung des Oberbodens mit Nährstoffen und organischer Substanz. Damit verbunden wäre eine Verbesserung der biologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens, also eine Verminderung der Gefahr für Erosion, Verkrustung und Verdichtung. Die Initialphase gilt als teuer und unproduktiv, in dem Sinne, daß aus den geernteten Materialien kein Einkommen zu erwarten ist.

2) In der zweiten Phase stünde die Lockerung und Anreicherung des Unterbodens mit Nährstoffen und organischer Substanz mit anschließendem Anbau von marktfähigen Nutzpflanzen zur Einkommensverbesserung im Vordergrund.

3) In der dritten Phase sollte die Aufmerksamkeit dem Management des Systems durch unter anderem eine ausgewogene Nährstoffversorgung gewidmet werden, um zu einem ökologisch wie ökonomisch nachhaltigen Produktionssystem zu gelangen. Damit wird deutlich, daß zur Lösung des Problems "eine maßvolle, technologisch angepaßte und umweltverträgliche Intensivierung der Landwirtschaft in den unterversorgten Entwicklungsländern" erforderlich ist (BURDICK, 1993; EL BASSAM, 1998). "Sollen die Menschen das unendlich erscheinende Potential an Sonne und Regen der Tropen nutzen," so das Plädoyer von MUTERT und RECKE im Schlußwort ihrer 1983 erstellten Studie über die Bodenreserven der Erde, "müssen sie den Mangel an Makro- und Mikronährstoffen, Al- und Mn-Toxizität und z. T. hohe P-Fixierung überwinden, ohne gleichzeitig den Boden selbst zu zerstören".

Nach OLTERSDORF (1992) ist das Welthungerproblem technisch lösbar. Durch verbesserte acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen, den Einsatz besseren Saatgutes, eine bedarfsgerechte Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzen, gezielte Pflanzenschutzmaßnahmen, verbesserte Erntetechnik und Lagerung der Ernteprodukte, könnte die Nahrungsmittelverfügbarkeit auch in den Entwicklungsländern nach Einschätzung von OLTERSDORF (1992) um 20% bis zu 500% erhöht werden. Allerdings sollten die notwendigerweise einzuleitenden Intensivierungsmaßnahmen verstärkt auf die wichtigsten Kulturpflanzen angewandt werden, die die Nahrungsgrundlage der Menschen bilden und bisher in der Forschung und in der Entwicklungspolitik der Industrieländer vernachlässigt wurden. Zu diesen gehören Getreidearten wie Sorghum und andere Hirsenarten, Knollen- und Wurzelfrüchte wie Maniok, Süßkartoffel, Yam, Taro sowie Hülsenfrüchte wie Bohnen, Erbsen, Kichererbsen und Erdnüsse (ANONYM, 1991; LEIHNER, 1991; FRANKE, 1992; SCHUG et al., 1996).

Für die Rehabilitierung und Nutzung der entwaldeten, aufgegebenen Standorte mit ihren sauren Böden ist die Kalkung als Düngungs- und Meliorationsmaßnahme unabdingbar (MUTERT und RECKE, 1983; MARTINI und MUTTERS, 1985; FINCK, 1986; UEXKÜLL, 1986; NOBLE et al., 1988; BUERKERT et al., 1990; YAMOA et al., 1990; MANRIQUE, 1993a; UEXKÜLL und MUTERT, 1995; VOUNDI KANA et al., 1997).

Die primär angestrebte Wirkung der Kalkung ist die Beseitigung der bereits erwähnten ungünstigen Fruchtbarkeitsmerkmale, u. a. die Senkung der Azidität und somit die Al-Toxizität, die Stabilisierung der Bodenstruktur und damit die Verbesserung des Luft- und Wasserhaushaltes sowie die Verbesserung der Nährstoffversorgung der Pflanzen (JUNGK, 1988; SCHAFF und ZECH, 1993; LEHNARDT, 1998). Dazu können u. a. verschiedene Ca- und Mg-Produkte in Form von Oxiden, Hydroxiden und Karbonaten verwendet werden (SCHAFF und ZECH, 1993; OGUNTOYINBO et al., 1996), wobei in den Tropen meistens der kohlensaure Kalk (CaCO_3) zum Einsatz kommt (FINCK, 1986).

Aufgrund der hohen Preise für Importprodukte wird immer mehr nach Alternativen gesucht (OGUNTOYINBO et al. 1996; VOUNDI KANA et al., 1997). So berichten OGUNTOYINBO et al. (1996) aus Nigeria über eine erfolgreiche Anwendung von Abfallprodukten aus der Zementherstellung (cement flue dust) bzw. der Stahlindustrie (slag) oder von Grundkalkstein. Bezüglich der Nährstoffaufnahme und der Biomasseproduktion erwiesen sich die lokalen Erzeugnisse und die Importprodukte als gleichwertig. Wichtig bei Düngungs- oder Meliorationskalkung ist die Ausbringung optimaler Kalkmengen, was die Kenntnis des Kalkbedarfs des betreffenden Bodens voraussetzt. Wie aus verschiedenen Untersuchungen hervorgeht, kann die Kalkung stark saurer Böden, wie sie in humiden Tropen und Subtropen anzutreffen sind, unter Umständen folgende Probleme nach sich ziehen:

1) Saure Böden sind bekanntlich allgemein Ca- und Mg-arm. Mit steigendem Verwitterungs- und Auswaschungsgrad nimmt der Mg-Gehalt ab und erreicht Werte nahe Null in den Ferralsolen und Acrisolen (BOYER, 1978; PAGEL et al., 1982; MUTSCHER und ONDONGO, 1986). Die Aufkalkung solcher Böden mit einer geringen Mg-Sättigung kann deren Mg-Verarmung noch verstärken. Diese Gefahr ergibt sich aus der Tatsache, daß der Boden eine relativ höhere Affinität zum Ca als zum Mg hat (ASTARAEI und CHAUHAN, 1991). Das Mg-Ion hat aufgrund seines kleineren Ionenradius im Vergleich zu Ca eine stärkere Hydrathülle und wird vom Sorptionskomplex schwächer gebunden.

Die Kalkung bedingt dann eine Mg-Desorption zugunsten von Ca und führt bei entsprechender Niederschlagsintensität zu hohen Mg-Auswaschungsverlusten (EDMEADES et al., 1985; MARTINI und MUTTERS, 1985; GERZABECK und SCHAFFER, 1988).

Für eine optimale Mg-Versorgung der Pflanzen sollte der Mg-Anteil an der Kationenaustauschkapazität (KAK) eines Bodens bei 10% liegen (PRINCE et al., 1947). Nach ADAMS und HENDERSON (1962) sind Böden mit einer Mg-Sättigung unter 4% als Mg-arm einzustufen.

Angaben vom CIAT¹ (1985) zufolge ist mit dem Mg-Mangel bei Buschbohne zu rechnen, wenn die Menge an austauschbarem Mg unter 230 mg/kg Boden fällt und eine Dolomitdüngung nicht erfolgt (BUERKERT et al., 1990). Damit die Pflanzen in ihrem Wachstum nicht beeinträchtigt werden, sollte der Boden folgende Basensättigung aufweisen: 65 bis 85% für Ca, 6 bis 12% für Mg, 2 bis 5% für K. Die übrigen Bindungsstellen des Sorptionskomplexes sind zum größten Teil mit H⁺-Ionen abgesättigt (GRAHAM, 1959 zit. nach FAGERIA und DE SOUZA, 1991).

2) Durch die Kalkung wird die Verfügbarkeit vieler Mikronährstoffe derart vermindert, daß Ernährungsstörungen (Nährstoffmangel) mit nachfolgenden Ertragseinbußen auftreten können (KAMPRATH, 1970; KAMPRATH, 1971; UEXKÜLL, 1986; BERTIC et al., 1988; NJOKU und ENWEZOR, 1991; AGHATISE und TAYO, 1995; UEXKÜLL und MUTERT, 1995). Von besonderer Bedeutung sind die sog. Kalkchlorose, die Rosettenkrankheit und die Urbarmachungskrankheit zu nennen, die jeweils durch Fe-, Zn- und Cu-Mangel ausgelöst werden können (JUNGK, 1988). Aus der Auswertung einer Reihe von Feldversuchen zur Wirkung einer Kalkmenge von 5t/ha auf verschiedenen Böden und verschiedenen Pflanzen in Uganda berichtet FOSTER (1970, zit. nach PAGEL et al., 1982) zwar über eine Ertragssteigerung von durchschnittlich 36 % (Variationsbreite von 0 bis 100%) in nur 24% der Erhebungen. Bei 76% der Versuchsflächen wurde weder eine positive noch eine negative Wirkung der Kalkung festgestellt. Über die Wirkungslosigkeit von Meliorationsmaßnahmen durch die Kalkung im Sinne von Ertragssteigerung wurde mehrfach berichtet (EDWARDS und KANG, 1978; NJOKU und ENWEZOR, 1991; AGHATISE und TAYO, 1995).

¹ Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali (Colombia).

2.2 Optimierung der Nährstoffversorgung durch Blattapplikation

In dem vorstehenden Abschnitt wurde deutlich gemacht, daß die Kalkung von stark sauren Böden die Voraussetzungen für eine Ertragssteigerung schaffen kann, wobei allerdings neue limitierende Faktoren auftreten können. Diese müssen identifiziert und durch zusätzliche Maßnahmen beseitigt werden. Vor diesem Hintergrund stellt sich nun die Frage, ob durch eine Mg-Blattapplikation in Verbindung mit einer Düngungs- oder Meliorationskalkung die Ertragswirksamkeit letzterer erhöht werden könnte.

Anzustreben wäre dabei eine Kombination von Mg und Mikronährstoffen, da oft der Kalkeffekt nicht nur aufgrund des Mg-Mangels ausbleibt, sondern auch sog. Überkalkungsschäden infolge der Mikronährstoff-Unterversorgung auftreten (PAGEL, 1981; FINCK, 1986). In Ergänzung zur Kalkung wären von der Blattapplikation von Mg-Formulierungen insofern Erfolge zu erwarten, als der Mg-Entzug durch die Pflanzen, von einigen Ausnahmen wie Bananen, Zuckerrohr, Ölpalme oder Ananas (PAGEL et al., 1982; ANONYM, 1984) abgesehen, nicht besonders hoch ist.

Über eine Vermeidung möglicher Ernährungsstörungen im Zusammenhang mit der Kalkung hinaus bietet die extraradikuläre Nährstoffversorgung eine Möglichkeit zur Optimierung der Ernährung von Kulturpflanzen überall dort, wo ungünstige Boden- und Klimaverhältnisse eine bedarfsgerechte Nährstoffversorgung über die Wurzeln in Frage stellen könnten (KAINDL, 1953; REILLY, 1984; DÖRING und GERICKE, 1986). Die Vorteile der Blattapplikation ergeben sich also daraus, daß die Nährstoffzufuhr direkt zu den Pflanzen erfolgt und somit unter anderem folgende bodenbedingte Störfaktoren umgangen werden. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sei an dieser Stelle auf einige Situationen hingewiesen, wo Blattdüngungsmaßnahmen zum Einsatz kommen können:

1) Bei ungünstiger Bodenreaktion kann die Verfügbarkeit bestimmter Nährstoffe vermindert werden. Dies trifft für die meisten Mikronährstoffe bei hohen pH-Werten zu (ANONYM, 1983; SHARMA und KANWAR, 1985; HELLIN et al., 1986; DÖRING, 1987; DÖRING und GERICKE, 1988; REED et al., 1988; PAPASTYLIANOU, 1990; PAPASTYLIANOU, 1993; MODAIHSH, 1997; LAL BAHADUR et al., 1998), während bei niedrigen pH-Werten die Phosphor- und Molybdän-Verfügbarkeit zum limitierenden Faktor werden kann (DÖRING und GERICKE, 1986; SUWANVESH und MORRILL, 1986; VIEIRA et al., 1998).

2) Als Folge von stauender Nässe (Waterlogging) wird die Wurzelaktivität einschließlich der Nährstoffaufnahme durch Sauerstoffmangel vermindert. Bei simuliertem Waterlogging konnten Blattspritzungen mit Harnstoff die negativen Auswirkungen der Staunässe ausgleichen, wie aus Untersuchungen aus Australien mit Baumwolle hervorgeht, vorausgesetzt, daß andere Wachstumsfaktoren wie Licht und Temperatur nicht limitierend wirkten. Unter kalten Witterungsverhältnissen blieb die Harnstoffbehandlung wirkungslos (HODGSON und MAC LEOD, 1987; HODGSON und MAC LEOD, 1988).

3) Bei niedrigen Bodentemperaturen wird das Wurzelwachstum beeinträchtigt und die Nährstoffaufnahme eingeschränkt. Als Ursache dafür ist die ungenügende Verfügbarkeit mancher Nährstoffe wie Phosphat und einiger Spurenelemente aufgrund verminderter Löslichkeit (GIORDANO und MORTVEDT, 1978; GISKIN und ELFRON, 1986; KIEKENS und CAMERLYNCK, 1986) bzw. erschwelter Ionendiffusion im Boden (SCHAFF und SKONGLEY, 1982) anzusehen. Außerdem kann bei suboptimaler Wurzelraumtemperatur die Translokation von Nährstoffen von der Wurzel zum Sproß vermindert werden (ENGELS und MARSCHNER, 1990).

4) Bei Trockenheit wird das Pflanzenwachstum beeinträchtigt, nicht nur infolge des Wassermangels, sondern auch durch die damit verbundene eingeschränkte Nährstoffbereitstellung. Die Nährstoffaufnahme als Funktion der Nährstoffverfügbarkeit hängt von der Elementanlieferung zu den Pflanzenwurzeln, vorwiegend durch Massenfluß und Diffusion, ab (MENGEL und BRAUNSCHWEIG, 1972; BRAUNSCHWEIG und GRIMME, 1973; MENGEL und CASPER, 1980; GRIMME, 1983).

Diese können bei Trockenheit unterbrochen werden (SOMMER und SCHULTE, 1986), wodurch eine optimale Nährstoffversorgung selbst bei Vorhandensein von Wasser in tieferen Bodenschichten nicht mehr gewährleistet werden kann, insbesondere wenn der Unterboden einen niedrigen Nährstoffgehalt aufweist (GRIMME, 1978). Unter solchen Bedingungen erweist sich die Blattdüngung der Bodendüngung gegenüber als überlegen (SOMMER und SCHULTE, 1986; HUNDT und PODLESACK, 1990; HOWARD und GWATHMEY, 1995; PESCHKE und MOLLENHAUER, 1998). Bei extremer Trockenheit bleibt sie allerdings wirkungslos, da der Ertrag nicht nur durch den Nährstoffmangel begrenzt wird, sondern auch durch den Wassermangel, dem durch die Blattdüngung nicht wirksam begegnet werden kann (FROHNER, 1965).

Darüber hinaus wird die Nährstoffaufnahme bei vermindertem Wassergehalt in den Pflanzen gehemmt, wie RUPPE (1986) in seinen Untersuchungen zur Cu- und Mn-Versorgung von Weizen über das Blatt nachweisen konnte.

5) Mit Beginn der reproduktiven Phase treten vegetative und generative Organe miteinander in Konkurrenz hinsichtlich ihrer Versorgung mit Assimilaten und Nährstoffen, wobei im Laufe der Zeit die generativen Organe zum Nachteil der Wurzeln bevorzugt versorgt werden. Die Wurzelaktivität und damit auch die Nährstoffaufnahme läßt wegen Mangel an Assimilaten allmählich nach (GISKIN und ELFRON, 1986).

Diese Situation ist besonders kritisch für Leguminosen, die auf die N₂-Fixierung angewiesen sind, da die Pflanze eine gleichzeitig optimale Belieferung der immer stärker werdenden Sinks (Hülsen) und der Knöllchen mit Mineralstoffen und Assimilaten oft nicht aufrechterhalten kann. Bei einer unzureichenden Assimilatbereitstellung geht die Aktivität der Wurzeln hinsichtlich der Stickstoffbindung in den Knöllchen bis zum Stillstand zurück. Hier kann die Blattdüngung Abhilfe leisten (SCHILLING und THROBISCH, 1971) und bei Zufuhr selbst relativ geringer Nährstoffmengen sogar zu Ertragssteigerungen führen (GARCIA und HANWAY, 1976; ALEXANDER und SCHROEDER, 1987).

6) Auch die Ernteprodukte stellen einen Nährstoffverlust dar, insofern als sie Träger von Nährstoffen sind, die vom Acker entfernt werden. Diese sogenannten Entzugsverluste müssen in der Nährstoffbilanz berücksichtigt werden, um Ertragsdepressionen wegen versäumten Ausgleiches von Nährstoffdefiziten zu vermeiden. Bei unvollständiger Kompensation der mit den Ernteprodukten entzogenen Nährstoffen besteht eine große Gefahr von Ernährungsstörungen durch Mangel an Spurenelementen (BUSSLER, 1987).

Den FAO-Angaben zufolge werden dem Boden jährlich Mikronährstoffe in 2 bis 6fach höherer Menge mit den Ernten entzogen als zugeführt (ANONYM, 1983). Selbst unter Berücksichtigung der Zufuhr durch Ernterückstände oder wirtschaftseigene Dünger bleibt die Mikronährstoffbilanz im allgemeinen negativ. Der Spurennährstoffdüngung wird eine zunehmende Bedeutung beigemessen, weil die Zahl der Böden mit unzureichendem Mikronährstoffangebot in der Welt zunimmt (FINCK, 1986; CAKMAK et al., 1996; YILMAZ et al., 1997).

Der latente Mangel an Spurenelementen ist nach ANONYM (1983) stärker verbreitet als angenommen und wird in naher Zukunft in vielen Teilen der Welt ein großes Hindernis für die Steigerung der Erträge darstellen, wenn ihm nicht die notwendige Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Der latente Nährstoffmangel gilt, wie auch das Ungleichgewicht der Nährstoffe zueinander, als Streßfaktor. Beide stellen derzeit ernste Hindernisse zur Erreichung von Maximalerträgen in der Pflanzenproduktion dar. Dies ergibt sich aus der Tatsache, daß bei komplexen Mangelsituationen die limitierenden Faktoren, in diesem Fall die im Minimum befindlichen Nährstoffe, auf die Ertragsbildung additiv wirken (WALLACE und BERRY, 1983; WALLACE, 1986). Wenn z. B. der Gehalt an vier einzelnen Elementen jeweils für 90% des unter gegebenen Standortbedingungen möglichen Höchstertrages ausreicht, so geht der Ertrag aufgrund des additiven Zusammenwirkens der Nährstoffe im suboptimalen Angebot auf ca. 66% des Maximalertrages zurück (WALLACE, 1986).

7) Bei sorgfältiger Beobachtung der Pflanzenbestände im Hinblick auf Mangelsymptombildung unter Berücksichtigung von Ergebnissen der Boden- und Pflanzenanalysen bleibt die Blattapplikation oft die einzig mögliche Maßnahme zur Vorbeugung von Nährstoffmangel oder zur schnellen Behebung latenter bzw. bereits sichtbar aufgetretener Nährstoffdefizite. Aufgrund von Cu-Mangel beobachteten z. B. ALLOWAY et al. (1986) bei Getreide Ertragsverluste bis zu 20%, ohne daß Cu-Mangelsymptome sichtbar wurden. Unter solchen Umständen bietet die Blattdüngung die Möglichkeit, signifikante Ertrags- und Qualitätsverluste zu vermeiden, die auch ohne vorherige Warnsignale im Sinne von Mangelsymptomen eintreten können (TILLS und ALLOWAY, 1981; NORDEN, 1982; ADAMS und BROOKS, 1986; ALEXANDER, 1986; SOMMER und SCHULTE, 1986; WALLACE, 1986).

2.3 Einflußfaktoren bei der Blattdüngung

Bei der Blattapplikation als Düngungsverfahren handelt es sich um das Besprühen der Blätter mit Nährstofflösungen (FROHNER, 1969). Der Erfolg einer Blattdüngung hängt unter anderem von der Düngermenge ab, die auf den Blättern haftet und über das Blatt in die Pflanze eindringen kann. Diese Düngermenge wird als "Nettobelagdicke" bezeichnet. Die über das Blatt zugeführten Nährstoffe werden erst ernährungswirksam, wenn sie das Protoplasma erreicht haben und in den Stoffwechsel einbezogen werden können (RUPPE, 1986; BAUR und SCHÖNHERR, 1996).

Bis dahin müssen die Nährstoffe drei Barrieren, nämlich die Kutikula der Epidermiszellen, die Zellwand und das Plasmalemma, überwinden, bevor sie in das Zytoplasma abgegeben werden (BERNDT, 1987). Bis dahin wandern die Ionen durch Diffusion. Der Fluß von Molekülen durch die Kutikula ist deren Permeabilität (Massenleitfähigkeit von Membranen) proportional (BAUR und SCHÖNHERR, 1996). Die treibende Kraft ist die Differenz des chemischen Potentials über die Kutikula.

Nach den Autoren ist die Aufnahmerate in die Blätter um so größer je höher die Permeabilität der Kutikula und je größer der Konzentrationsunterschied über die Kutikula ist. In der Tabelle 2 sind die wesentlichen Faktoren zusammengetragen, die die Nährstoffaufnahme über das Blatt beeinflussen. Einige der aufgeführten Faktoren sind teilweise vom Anwender nicht beeinflussbar. Dazu gehören z. B. erbliche Faktoren wie Struktur des Blattgewebes und der Stoffwechsel der einzelnen Pflanzenarten (FROHNER, 1965) sowie Klimafaktoren am natürlichen Standort wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit. Von den äußeren Faktoren sind die relative Luftfeuchtigkeit und die Temperatur diejenigen, die in besonderem Maße die Stoffaufnahme über die Blätter beeinflussen (RUPPE, 1986; RUPPE und PODLESACK, 1992a; BAUR und SCHÖNHERR, 1996).

Die relative Luftfeuchte bestimmt, wie schnell das Wasser als Lösungsmittel aus der Spritzlösung verdunstet, und hat somit entscheidenden Einfluß auf die Stoffaufnahme. Beim Verdunsten steigt die Konzentration an, bis die Spritzlösung auf dem Blatt gesättigt ist. In Abhängigkeit von der Permeabilität der Kutikula sind dann hohe Aufnahmeraten möglich.

Wenn z. B. ein Wirkstoff auf der Oberfläche auskristallisiert, geht der Konzentrationsunterschied über die Kutikula als Triebkraft gegen Null und damit auch die Aufnahme rate, und zwar unabhängig davon, wie hoch die Permeabilität der Kutikula ist.

Die Temperatur beeinflusst die Penetrationsraten von Wirkstoffen auf verschiedene Weisen. Angaben von TUKEY (1986) zufolge, beruht die fördernde Wirkung der Temperatur auf die Nährstoffaufnahme über das Blatt auf einer Beschleunigung der Penetration und Translokation der zugeführten Nährstoffe. Strukturveränderungen der Blattoberfläche wie auch die Aktivierung der Stoffwechselprozesse werden durch die Temperatur stimuliert (HUNDT et al., 1990).

Wie in Untersuchungen von BAUR und SCHÖNHERR (1996) beispielsweise gezeigt werden konnte, nahm die Mobilität des Herbizids 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure (2,4-D) in Citrus-Kutikeln um den Faktor 30 zu, wenn die Temperatur von 15 auf 35°C anstieg.

Tab. 2: Wichtige Einflußfaktoren bei der Nährstoffaufnahme über das Blatt
(zusammengestellt nach REILLY, 1984; HUNDT und PODLESACK, 1989).

Einflußfaktor Pflanze	Einflußfaktor Standort	Einflußfaktor Applikationslösung
Morphologie des Sprosses (<i>Größe, Form, Stellung der Blätter</i>)	Temperatur	Nährstoff und Nährstoffform
Struktur der Blattoberfläche (<i>Stärke der Kutikula, der Wachsschicht, der Behaarung</i>)	relative Luftfeuchte	Konzentration, pH-Wert
Entwicklungsstadium und Ernährungszustand der Pflanze	Lichtverhältnisse (<i>Lichtintensität und Photoperiode</i>)	Mischungspartner, Zusätze
Wasserstatus der Pflanze Allgemeiner Zustand der Pflanzen	Niederschläge	Wasserqualität

Der Nutzeffekt einer Blattapplikation hängt aber auch von Faktoren ab, die vom Anwender festgelegt werden können, so z. B. von der Auswahl des Düngers, dem Zeitpunkt der Applikation (Tageszeit und Entwicklungsphase der Pflanze), dem Applikationsintervall und somit der Häufigkeit der Applikationen (ALEXANDER, 1986; CHAMEL, 1986; DÖRING und GERICHKE, 1986; BAUR und SCHÖNHERR, 1996).

Hinsichtlich der Eigenschaften der Applikationslösung steht fest, daß alle Nährstoffe über das Blatt aufgenommen werden können, vorausgesetzt, ihre Träger sind wasserlöslich (FROHNER, 1965). Entscheidend bei der Auswahl ist zunächst die Nährstoffkonzentration des Produktes. Sie muß hoch genug sein, um den Bedarf der Pflanzen decken zu können (ADAMS und BROOKS, 1986).

Nach dem Nährstoffgehalt kommt der Aufnahmegeschwindigkeit des Nährstoffträgers und der Beweglichkeit des in Frage kommenden Nährstoffes in der Pflanze eine große Bedeutung zu. Wie aus Tabelle 3 ersichtlich erfolgt die Nährstoffaufnahme in Abhängigkeit vom Element unterschiedlich schnell.

Dabei scheint die Aufnahmeintensität in den ersten Stunden nach der Applikation höher zu sein als zu einem späteren Zeitpunkt (EDDINGS und BROWN, 1967; WITTEWERT und BUKOVAC, 1969; FISCHER und WALKER, 1985; KLEIN und WEINBAUM, 1985; RUPPE, 1986; HUNDT et al., 1990; RUPPE und PODLESACK, 1992a,b).

Tab. 3: Geschwindigkeit der Nährstoffaufnahme über das Blatt (nach WITTEWERT und TEUBNER, 1959).

Nährstoff	Versuchspflanzen	Dauer in Stunden (h) für eine 50%ige Aufnahme
Stickstoff	Apfel, Ananas	1 - 4 h
	Kaffee, Kakao, Banane,	1 - 6 h
	Gurke, Bohne, Tomate, Mais	12 - 24 h
	Sellerie, Kartoffel	24 h
	Zuckerrohr	24 - 36 h
	Tabak	
Phosphor	Bohne	30 h - 144 h
	Apfel	168 - 256 h
	Zuckerrohr	360 h
Kalium	Bohne, Kürbis, Wein	24 - 96 h
S (SO_4^{2-})	Bohne	192 h
Calcium	Bohne	96 h
Magnesium	Apfel	20% in 1 h
Natrium	Bohne	6 h
Chlorid	Bohne	24 - 48 h
Eisen	Bohne	8% in 24 h
Mangan	Bohne, Sojabohne	24 - 48 h
Zink	Bohne	24 h
Molybdän	Bohne	4% in 24 h

Angesichts der bestehenden Unterschiede der Elemente in der Mobilität ist es besonders wichtig, die Aufnahmegeschwindigkeit und die Beweglichkeit der aufgenommenen Nährstoffe in der Pflanze zu erhöhen.

Eine Möglichkeit der Einflußnahme besteht in der Zugabe von Additiven, auch Formulierungshilfstoffe genannt, sei es bei der Herstellung von Blattdüngern oder vor deren Ausbringung (HSU et al., 1982; HSU und ASHMEAD, 1984; KADMAN und GAZIT, 1984; SHAFER und REED, 1986; STEIN und STOREY, 1986; RUPPE, 1986; BERNDT, 1987; HUNDT et al., 1990; RUPPE und PODLESACK, 1992a,b; BAUR und SCHÖNHERR, 1996). Nach BERNDT (1987) stellen Additive eine umfangreiche Gruppe sehr heterogener Substanzen mit unterschiedlichen Eigenschaften dar.

Die meist angewandten Zusätze sind die sog. Surfactants zur Verminderung der Oberflächenspannung der Applikationslösungen und zur Verbesserung der Benetzbarkeit der Blattoberfläche sowie die Humectants zur Aufrechterhaltung des Spritzbelags in Lösung über längere Zeit (STEIN und STOREY, 1986; BERNDT, 1987). Für den positiven Effekt von Zusätzen sind einer oder mehrere Wirkungsmechanismen verantwortlich. Die wichtigsten sind:

- 1) eine Verminderung der Oberflächenspannung und somit Vergrößerung der Kontaktfläche auf dem Blatt. Als Maß für die Benetzbarkeit wird der sog. Randwinkel gemessen (RENTSCHLER, 1971). Das ist der Winkel, den ein Tropfen der Applikationslösung mit der Blattoberfläche bildet. Je kleiner dieser Kontaktwinkel, desto größer ist die Blattoberfläche, die durch die Applikationslösung benetzt werden kann. Hierbei wird der Randwinkel von 100° als Grenze für eine ausreichende Benetzung angesehen (HUNDT et al., 1990).
- 2) eine Erhöhung der kutikulären Penetration der Spritzlösung sowie Aufrechterhaltung des Spritzbelags in Lösung und somit Verlängerung der Penetrationszeit;
- 3) eine Erhöhung der Beweglichkeit der Substanz nach dem Eindringen ins Blattgewebe.

Nach der Benetzbarkeit der Blattoberfläche kommt der Stoffbeweglichkeit im Blattgewebe eine außerordentlich große Bedeutung zu, denn der über das Blatt applizierte Nährstoff wird erst ernährungswirksam, wenn er das Protoplasma erreicht hat und in den Stoffwechsel einbezogen wird.

Die Stoffbeweglichkeit nimmt mit steigender Größe der Teilchen (Molvolumen [cm^3/mol]) ab. Die Abhängigkeit der Stoffbeweglichkeit von der Molekülgröße gilt jedoch nur, wenn der penetrierende Stoff die Eigenschaften der Kutikula nicht verändert, (BAUR und SCHÖNHERR, 1996).

Solche Formulierungshilfsstoffe, die über die Löslichkeit des Spritzbelages auf der Oberfläche wirken, selbst aber nicht in das Blattgewebe eindringen oder, falls sie es tun, die Kutikula strukturell nicht verändern, werden passive Additive bezeichnet. Im Gegensatz dazu gibt es Zusätze, die in die Kutikula eindringen und diese strukturell so verändern, daß der Diffusionskoeffizient als Maß für die Beweglichkeit der Moleküle in der Membran signifikant zunimmt.

Sie werden Akzeleratoren genannt und diese Eigenschaft ist auf ihren lipophilen Charakter zurückzuführen (BAUR und SCHÖNHERR, 1996). Ist die Penetrationsgeschwindigkeit des Wirkstoffes an die des Additivs gut angepaßt, dann bleibt über längere Zeit eine gesättigte Lösung auf der Kutikula. Somit wäre aufgrund des bestehenden Konzentrationsunterschiedes über die Kutikula eine wesentliche Voraussetzung für hohe Aufnahmeraten erfüllt (BAUR und SCHÖNHERR, 1996).

Angesichts der Vielzahl der Eigenschaften von Zusätzen gewinnt die Prüfung von Substanzen auf ihre Eignung als Additive für das Formulieren von Agrochemikalien immer mehr an Bedeutung (DÖRING und GERICKE, 1986; DÖRING, 1987; RUPPE, 1986; ALEXANDER und SCHROEDER, 1987; CHAMEL und FERANDON, 1988; HUNDT et al., 1990; RUPPE und PODLESÁK, 1992a,b; GERICKE, 1994; BAUR und SCHÖNHERR, 1996). Neben physiologisch wirksamen Substanzen wie Phytohormonen, die beim Formulieren von Blattdüngern als Additive Verwendung finden, zeichnen sich Aminosäuren als hervorragende Carriers für Nährstoffe, insbesondere für Mikronährstoffe aus Blattdüngern aus (WALLACE und WALLACE, 1983; ALEXANDER und SCHROEDER, 1987).

In ihren Untersuchungen mit Baumwolle haben HSU und ASHMEAD (1984) beispielsweise festgestellt, daß durch Zusatz von Harnstoff oder Aminosäuren die Aufnahme von Eisen über die Blätter gefördert wurde. In anderen Versuchen mit Tomaten unter Anwendung von Isotopen konnten HSU et al. (1986) eine bessere Fe-Aufnahme und -Translokation aus einem mit Aminosäuren chelatisierten Blattdünger (sog. Fe-Metalosate) als aus Fe-EDTA oder Fe-Sulfat nachweisen. Über ähnliche Ergebnisse wurde von WALLACE und WALLACE (1983) berichtet. Dabei wurde bis zu 30% mehr Fe aus Aminosäuren-Chelaten bis in die Wurzeln verlagert als bei

der Spritzung mit einer FeSO_4 -Lösung.

In mehrjährigen Versuchen unter verschiedenen Standortbedingungen in Ägypten brachte der Einsatz von aminosäuren-chelatisierten mikronährstoffbetonten Formulierungen bei unterschiedlichen Kulturen eine Ertragssteigerung zwischen 20 und 60% (EL-FOULY, 1990).

Unter Einbeziehung von ähnlichen Ergebnissen aus anderen Teilen der Erde ist die Blattdüngung eine geeignete Maßnahme, mit der Ertragseinbußen aufgrund von Ernährungsstörungen als Folge boden- bzw. klimabedingt ungünstiger Wachstumsfaktoren verhindert werden können (ABD EL HADI et al., 1986; DÖRING und GERICKE, 1986; EL-FOULY et al., 1986; GISKIN und ELFRON, 1986; KIERENS und CARMELYNCK, 1986; SOMMER und SCHULTE, 1986; AMIN, 1987; DÖRING, 1987; EL-FOULY und AMBERGER, 1988; EL-FOULY, 1990; HUNDT et al. 1990; ABDEL-MOTTALEB et al., 1995; KRIEM et al., 1995).

Das setzt allerdings eine sorgfältige Auswahl der Produkte einschließlich der Zusätze und eine richtige Anwendung, d. h. unter anderem die Ausbringung zum richtigen Zeitpunkt und in der richtigen Konzentration voraus (ADAMS und BROOKS, 1986; DÖRING und GERICKE, 1986; BERNDT, 1987).

Neben positiven Ergebnissen im Zusammenhang mit der Blattapplikation sind auch eine Reihe negativer Erfahrungen beschrieben worden, deren Ursache nicht in jedem Fall eindeutig einzuordnen ist. Wirkungslosigkeit bzw. Ertragsrückgang als Folge einer Blattapplikation sollen nach Ansicht von STEIN und STOREY (1986) auf ungeeignetes Formulieren der Blattdünger zurückzuführen sein, welches unter anderem in einer geringen Retention der Spritzlösung und in unzureichender Nährstoffaufnahme zum Ausdruck kommt. Es wird allerdings angenommen, daß ein anderer Teil der Mißerfolge von Blattdüngungsmaßnahmen auf die vielseitigen Wechselwirkungen zwischen Umweltfaktoren und der Applikationslösung zurückgeht (RUPPE, 1986; HUNDT et al., 1990).

Beim Eintrocknen der Spritzlösung bzw. bei sehr schneller Aufnahme können z. B. hohe Salzkonzentrationen erreicht werden, die zur Beschädigung des Blattgewebes in Form von Verbrennungen führen (FROHNER, 1969; GAMBLE und EMINO, 1986). Dies hat eine Verminderung der Photosyntheseaktivität und schließlich Ertragseinbuße zur Folge (NEUMANN und PRINZ, 1975; NEUMANN, 1979; NEUMANN und GISKIN, 1979; PARKER und BOSWELL, 1980; NEUMANN et al., 1981).

Allerdings muß auf eine unsachgemäße Anwendung besonders aufmerksam gemacht werden.. Wie einige Beispiele aus Gerichtsverfahren in den USA zeigen, können bei unsachgemäßer Anwendung Schäden bis hin zum Ernteausfall auftreten und zu Konflikten zwischen Hersteller und Verbraucher führen (WALLACE und SAMMAN, 1982).

Die hohe Kunst des Formulierens von Blattdüngern besteht darin, Produkte zu entwickeln und zu konfektionieren, mit deren Einsatz hinsichtlich Nährstoffangebot, Aufwandsmenge und Applikationszeitpunkt den Nährstoffansprüchen der Pflanzen unter Berücksichtigung der mit der Bewirtschaftungsintensität zunehmenden Verarmung des Bodens an Nährstoffen gerecht werden können. Nach DÖRING und GERICKE (1986) ist das Formulieren von Blattdüngern so vorzunehmen, daß beim Einsatz negative Auswirkungen auf den pflanzlichen Stoffwechsel vermieden werden. Wird die Aufnahme durch Einsatz geeigneter Additive optimiert, dann wird eine geringere Nährstoffmenge pro Flächeneinheit benötigt. Alle Möglichkeiten sollten erforscht werden, wie der Nährstoff-Input je Produkteinheit gesenkt werden kann (RUPPE und PODLESAK, 1992).

3 Fragestellung

In der vorliegenden Arbeit sollte der Frage nachgegangen werden, ob Auswirkungen eines verminderten N-, Mg- und Mikronährstoffangebotes über die Wurzeln bei *Phaseolus vulgaris* L. 'PRELUDE' durch Blattapplikationsmaßnahmen ausgeglichen werden können. In Kurzzeitversuchen unter definierten und kontrollierten Bedingungen in einer Klimakammer wurde die Wirkung verschiedener Mg- und Mikronährstoff-Blattdünger auf Wachstum, Ertrag und Nährstoffaufnahme von Buschbohne bei vermindertem Mg- und Mikronährstoffangebot während des vegetativen Wachstums untersucht.

Unter Verwendung eines Quarzsandes wurde in Langzeitversuchen in einer Vegetationshalle die Wirkung eines Mg- und Mikronährstoffangebotes über das Blatt auf Wachstum und Ertrag sowie Samenqualität von Buschbohne bei vermindertem Mg- und Mikronährstoffangebot während der generativen Entwicklungsphase geprüft.

Ferner wurde unter Verwendung eines relativ N-armen Sandbodens (Dahlemer Boden) der Einfluß N-haltiger Blattdünger auf Wachstum und Ertrag sowie Samenqualität von Buschbohne in Abhängigkeit von N₂-Fixierung und unterschiedlicher N-Bodendüngung untersucht.

4 Material und Methoden

4.1 Kurzzeitversuche

Die Anzucht der Pflanzen erfolgte in Hydrokultur unter definierten und kontrollierten Bedingungen in einer Klimakammer (Temperatur: 24-26°C, relative Luftfeuchtigkeit: 60-80%, Beleuchtungsstärke: 8-10 klx, Photoperiode: 12 Stunden). Als Versuchspflanze diente eine frühreifende Buschbohnsorte (*Phaseolus vulgaris* L. 'PRELUDE', Herkunft: Royal Sluis, Enkhuizen/Niederlande). Zur Nährstoffversorgung der Pflanzen wurde eine modifizierte HOAGLAND-Nährlösung verwendet, die in der Endkonzentration wie folgt zusammengesetzt war (Tab. 4). Der pH-Wert der Nährlösung in der Endkonzentration lag bei 5,2.

Tab. 4: Zusammensetzung der Nährlösung in der Endkonzentration (nach DÖRING et al., 1986).

Nährstoff	Konzentration (mmol)	Nährstoff	Konzentration (mmol)
Ca^{2+}	3,00	NH_4^+	$1,2 \cdot 10^{-3}$
K^+	2,00	$\text{Fe}^{3+1)}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Mg^{2+}	0,65	B^{3+}	$2 \cdot 10^{-2}$
NO_3^-	4,00	Mn^{2+}	$2 \cdot 10^{-4}$
SO_4^{2-}	2,40	Zn^{2+}	$2 \cdot 10^{-4}$
H_2PO_4^-	0,50	Cu^{2+}	$2 \cdot 10^{-4}$
		Mo^{6+}	$2 \cdot 10^{-4}$

¹⁾Fe als Fe-EDTA

4.1.1 Vorkultur

Zur Verhinderung einer möglichen Übertragung von Infektionskrankheiten wurde das Saatgut zunächst mit Äthanol oberflächenbehandelt. Die Samen wurden eine Minute lang in eine 50%ige Alkohollösung bei ständigem Umrühren eingetaucht und anschließend mehrmals mit demineralisiertem Wasser abgespült, dann wurden sie in Pikierschalen auf Filterpapier mit Zellstoff als Unterlage ausgelegt und unter täglicher Zugabe einer 0,2 mM CaSO_4 -Lösung zur Keimung (sechs Tage Dunkelkeimung) gebracht.

Danach wurden die Keimlinge für sieben Tage auf eine Wanne in eine 1:10 verdünnte Nährlösung gesetzt. Einheitliche Pflanzen wurden dann selektiert und je nach Versuchsreihe in 5 Liter-Kunststoffgefäße mit zwei Pflanzen/Gefäß bei Mg und Mikronährstoff-Mangel bzw. in 1,5 Liter-Kunststoffgefäße mit einer Pflanze/Gefäß bei elementspezifischem Mikronährstoff-Mangel übertragen. Zur Vermeidung konzentrationsbedingter Schädigungen der jungen Pflanzen wurde die Konzentration der Nährlösung zunächst für drei Tage von 10% auf 50% erhöht. Danach erhielten die Pflanzen die Nährlösung in der Endkonzentration.

4.1.2 Behandlung

4.1.2.1 Nährstoffangebot über die Wurzel

Mg-Mangel

Nach einer 14-tägigen Vorkultur erfolgte die Differenzierung der Nährstoffversorgung über die Wurzeln. Die Pflanzen der Kontrollvariante wurden mit der vollen Nährlösung (Tab. 4) versorgt. Im Gegensatz dazu erhielten die Pflanzen der Mangelvariante eine Mg-freie Nährlösung.

Multipler Mikronährstoffmangel

Nach einer Vorkultur von ebenfalls 14 Tagen erhielten die Pflanzen der Spurennährstoffmangel-Variante eine Nährlösung, die keine Spurenelemente enthielt.

Elementspezifischer Mikronährstoffmangel

Nach einer Vorkultur von 11 Tagen erfolgte die Differenzierung der Nährstoffversorgung über die Wurzeln nach der Differenzmethode. Während die Pflanzen der Kontrollvariante mit der vollen Nährlösung (Tab. 4) versorgt wurden, erhielten die Pflanzen der Fe-Mangelvariante eine Fe-freie Nährlösung, die der Mn-Mangelvariante eine Mn-freie Nährlösung und die der Zn-Mangelvariante eine Zn-freie Nährlösung.

Bei komplexer Mikronährstoff-Unterversorgung wurden Fe, Mn und Zn gleichzeitig aus der Nährlösung weggelassen. Die Nährlösung war ständig belüftet und wurde während der Behandlungszeit regelmäßig alle drei bis vier Tage gewechselt.

4.1.2.2 *Nährstoffangebot über das Blatt*

Bei der präventiven Behandlung wurde mit dem fehlenden Angebot der Nährstoffe aus der Nährlösung die erste Blattapplikation vorgenommen. Im Gegensatz dazu erfolgte die erste Blattapplikation bei der kurativen Behandlung, als die Mangelsymptome visuell deutlich erkennbar wurden.

Die Konzentration der Spritzlösung wurde nach einem Verträglichkeitstest festgelegt. Sie betrug bei allen geprüften Düngern 0,5% w/w. Die Ausbringung erfolgte im Überschußverfahren (Tropfnaßverfahren) mit einem Feinsprüher (Fa. Gloria-Werke Schulte-Frankenfeld GmbH). Die Düse war so einstellbar, daß eine gleichmäßig feine Verteilung der Spritzlösung auf die Blätter gewährleistet werden konnte. Es wurde alle drei bzw. vier Tage jeweils nach dem Nährlösungswechsel gespritzt. Die Pflanzen der Vergleichsvarianten ohne Blattdüngung wurden zur gleichen Zeit mit demineralisiertem Wasser besprüht. Insgesamt wurden sieben bis acht Spritzungen bei präventiver und vier bei kurativer Behandlung durchgeführt, wobei die letzte Applikation drei Tage vor der Ernte erfolgte. In der Tabelle 5 ist die Zusammensetzung der geprüften Blattdünger ersichtlich. Über die durchgeführten Behandlungen geben die Tabellen 6 und 7 Auskunft.

Tab. 5: Zusammensetzung der verwendeten Blattdünger.

Düngerbezeichnung ¹⁾	Makronährstoffgehalt (% w/w)				Mikronährstoffgehalt ²⁾ (mg/kg)						
	N	P	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Co
Wuxal SD 1525 (Mg 1)	-	-	7,2	-	1000	500	500	500	200	5	5
Wuxal SD 1390 (Mg 2)	10	-	6,0	-	1000	500	500	500	200	5	5
Wuxal SD 91543 (Mikro 1)	-	-	-	-	1800	2400	2400	100	100	5	5
Wuxal SD 91543 (Mikro 2) ³⁾	-	-	-	-	1800	2400	2400	100	100	5	5
Wuxal Typ 6 ⁴⁾ (Wuxal)	25	2,6	-	-	1000	500	500	500	200	5	5
Wuxal SD 1168 ⁴⁾	10	-	1,8	1,2	5000	10000	5000	5000	200	5	5
Harnstoff (HS)	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹⁾In Klammern sind die in der Arbeit zur Bezeichnung der Dünger verwendeten Abkürzungen angegeben.

²⁾Die Elemente Fe, Mn, Zn, Cu und Co sind vollchelatisiert.

³⁾Dem Blattdünger Wuxal SD 91543 (Mikro 1) wurden 0,2% Harnstoff zugesetzt.

⁴⁾Diese Dünger wurden nur bei Glashausversuchen verwendet. Die in Klammern angegebene Abkürzung Wuxal umfaßt die beiden Dünger Wuxal Typ 6 und Wuxal SD 1168, da sie gemäß Empfehlung des Herstellers alternierend appliziert wurden.

Tab. 6: Behandlungsübersicht zur Wirkung der Blattapplikation bei vermindertem Mg- resp. Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.

Nährstoffangebot über die Wurzeln	Nährstoffangebot über das Blatt	
	<i>präventiv</i>	<i>kurativ</i>
volle NL (Kontrolle)	-	-
ohne Mg ¹⁾	-	-
ohne Mg	Mg 1	Mg 1
ohne Mg	Mg 2	Mg 2
ohne Mikronährstoffe ²⁾	-	-
ohne Mikronährstoffe	Mikro 1	Mikro 1
ohne Mikronährstoffe	Mikro 2 ³⁾	Mikro 2

¹⁾Nährlösung ohne Mg

²⁾Nährlösung ohne alle Mikronährstoffe

³⁾Dem Blattdünger Wuxal SD 91543 wurde 0,2% Harnstoff zugesetzt.
Die Pflanzen der Kontrollvarianten mit demineralisiertem Wasser besprüht.

Tab. 7: Behandlungsübersicht zur Wirkung der Blattapplikation bei element-spezifisch vermindertem Mikronährstoffangebot über die Wurzeln.

Nährstoffangebot über die Wurzeln	Nährstoffangebot über das Blatt (präventiv)
volle NL (Kontrolle)	-
ohne Fe ¹⁾ ohne Fe	- Mikro 1
ohne Mn ²⁾ ohne Mn	- Mikro 1
ohne Zn ³⁾ ohne Zn	- Mikro 1
ohne Fe, Mn, Zn ⁴⁾ ohne Fe, Mn, Zn	- Mikro 1

¹⁾Nährlösung ohne Fe

²⁾Nährlösung ohne Mn

³⁾Nährlösung ohne Zn

⁴⁾Nährlösung ohne Fe, Mn und Zn

Die Pflanzen der Kontrollvarianten mit demineralisiertem Wasser besprüht.

4.1.2.3 Ernte und Probenaufbereitung

Während der Versuchszeit wurden die Pflanzen auf behandlungsbedingte Veränderungen in Wachstum und Entwicklung sowie in der Symptomausbildung regelmäßig bonitiert. Nach einer Vegetationsdauer von 42 Tagen wurden die Pflanzen geerntet. Folgende Wachstums- und Ertragsparameter wurden registriert:

- Wuchshöhe (ab dem ersten Nodium)
- Blattfläche [mittels eines Blattflächenmeßgerätes (LAMDA LI-COR AREAMETER LI 3100, Lincoln, Nebraska/USA)]
- Anzahl der Hülsen/Pflanze
- Frischgewicht der einzelnen Fraktionen (Blätter, Hülsen, Stengel und Wurzeln)
- TS-Ertrag der einzelnen Fraktionen
- gesamte Biomasse

Zur Entfernung von Blattdüngerrückständen wurden die Blätter, Stengel und Hülsen der mit Blattdüngern behandelten Pflanzen in Anlehnung an die Methode von SMITH und STOREY (1976) gewaschen. Die Proben wurden zunächst eine halbe Minute in eine 0,01 N HCl-Lösung eingetaucht, vorsichtig gewaschen und anschließend wie die Wurzeln mit demineralisiertem Wasser abgespült.

Während die Trocknung der anderen Fraktionen im Trockenschrank bei 65°C erfolgte, wurden die Blattproben gefriergetrocknet. Zur Ermittlung des Trockengewichtes wurde ein Teil des Pflanzenmaterials bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Das getrocknete Pflanzenmaterial wurde mit einer Scheibenschwingmühle (Fa. Siebtechnik) in einem Achatgefäß zur Aufbereitung für chemische Analysen fein vermahlen.

4.2 Langzeitversuche

4.2.1 Versuchssubstrat und Versuchsbedingungen

Die Anzucht der Pflanzen erfolgte in Mitscherlich-Gefäßen. Für die Mg- und Mikronährstoff-Mangelversuche kam ein mit 0,1%iger H₂SO₄-Lösung und bis zur Säurefreiheit mehrmals mit destilliertem Wasser gereinigter Quarzsand (0,7-1,2 mm Durchmesser) zur Anwendung. Bei den N-Mangelversuchen wurde ein relativ humusarmer lehmiger Sand (Sl 2) aus dem Raum Berlin-Dahlem verwendet. Vor dem Füllen der Gefäße wurde der Boden gedämpft. Die Gefäße wurden dann mit 6 kg lufttrockenem Boden für die N-Mangelversuche und mit 6 kg Quarzsand für die Mg- und Mikronährstoff-Mangelversuche gefüllt. Der Versuchsboden hatte einen pH-Wert von 6,3 (KCl) und eine elektrische Leitfähigkeit von 0,5 mS/cm. Über den Nährstoffstatus des Versuchsbodens gibt die Tabelle 8 Auskunft.

Tab. 8: Nährstoffstatus des Versuchsbodens.

Makronährstoffgehalt (mg/100 g Boden)		Mikronährstoffgehalt ¹⁾ (mg/kg Boden)	
P ²⁾	50,4	Fe	640,5
K ²⁾	12,3	Mn	98,5
Mg ³⁾	6,7	Zn	95,8
		Cu	7,7

¹⁾bestimmt nach SCHÜLLER

²⁾bestimmt nach der Doppellactat-Methode von EGNER-RIEHM

³⁾bestimmt nach SCHACHTSCHABEL

Nach einem Vorversuch unter Glashausbedingungen im Institut für Ökologie (FG Freilandpflanzen- und Zierpflanzenkunde) der Technischen Universität Berlin (TUB) im Frühjahr 1988 erfolgte die Anlage der Hauptversuche im Sommer 1988 und 1989 in der Vegetationshalle des Instituts für Nutzpflanzenforschung (FG Pflanzenernährung) der TUB. Die mittleren Temperaturen am Standort der Hauptversuche schwankten während der Vegetationszeit in beiden Jahren zwischen 18 und 33°C, lagen aber im Versuchsjahr 1989 deutlich höher als im Vorjahr. Die mittlere relative Luftfeuchte lag 1988 bei 50-90% und 1989 bei 30-80%. Die Lichtintensität und die Tageslänge wurden von den jahreszeitlichen Bedingungen bestimmt. Die Gefäße standen auf Schienenwagen und konnten bei zu hohen Temperaturen aus der Vegetationshalle ins Drahthaus und bei Regen oder starkem Wind wieder in die Halle geschoben werden.

4.2.2 Versuchsdurchführung

Vor der Aussaat wurde das Saatgut ähnlich wie bei Klimakammerversuchen mit Äthanol gebeizt. Die Aussaat (sechs Samen/Gef.) erfolgte direkt ins Gefäß. Sieben Tage nach dem Auflaufen (TNA) wurde auf drei Pflanzen/Gefäß vereinzelt. Zur Induktion der Knöllchenbildung wurde 14 TNA eine Rhizobien-Impfung vorgenommen. Drei Rhizobien-Stämme (*Rhizobium leguminosarum phaseoli* Nr. 510, 544 und 579), die für Buschbohne als spezifisch gelten, kamen zur Anwendung. Gemäß Empfehlung vom RADICIN-Institut² wurde das Trägermaterial mit destilliertem Wasser versetzt und in zehn Liter Gießwasser gegeben. Nach kräftigem Umrühren erhielt dann jedes Gefäß 100 ml der Impflösung.

² Für die kostenlose Überlassung des Rhizobien-Trägermaterials sei auf diesem Wege dem RADICIN-Institut für

4.2.2.1 Nährstoffangebot über das Blatt bei vermindertem

Mg- resp. Mikronährstoff-Angebot

Nach dem Vereinzeln wurden den in Quarzsand angezogenen Pflanzen 240 mg N/Gefäß als Calciumnitrat in gelöster Form verabreicht. Darüber hinaus erhielten die Pflanzen zweimal wöchentlich 500 ml/Gefäß der bei den Klimakammerversuchen verwendeten Nährlösung ohne Stickstoff. Im Vergleich zur Kontrolle (volle Nährlösung) wurde das Mg- bzw. Spurennährstoff-Angebot bis zu Blühbeginn auf 10% vermindert.

Mit dem Übergang in die generative Phase erhielten die Pflanzen bis zur Reife eine Nährlösung ohne Mg resp. Mikronährstoffe. Die Blattapplikation erfolgte von Blühbeginn an für vier Wochen, in einem 7-tägigen Intervall. Die durchgeführten Behandlungsvarianten sind aus der Tabelle 9 ersichtlich.

Tab. 9: Behandlungsübersicht zur Wirkung der Blattapplikation bei vermindertem Mg- resp. Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.

Nährstoffangebot über die Wurzeln	Nährstoffangebot über das Blatt <i>präventiv</i>
volle NL (Kontrolle)	-
ohne Mg ¹⁾	-
ohne Mg	Mg 1
ohne Mg	Mg 2
ohne Mikronährstoffe ²⁾	-
ohne Mikronährstoffe	Mikro 1
ohne Mikronährstoffe	Mikro 2 ³⁾

¹⁾Nährlösung ohne Mg

²⁾Nährlösung ohne alle Mikronährstoffe

³⁾Dem Blattdünger Wuxal SD 91543 (Mikro 1) wurde 0,2% Harnstoff zugesetzt. Die Kontrollvarianten wurden mit destilliertem Wasser besprüht.

4.2.2.2 Nährstoffangebot über das Blatt bei unterschiedlicher N-Versorgung

Bei den im Boden angezogenen Pflanzen erhielt die Hälfte der Gefäße eine Gabe von 240 mg N/Gef. als Startdüngung (das entspricht einer Gabe von etwa 40 kg N/ha) als Calciumnitrat in gelöster Form. Die andere Hälfte der Gefäße blieb ungedüngt. Die übrigen Nährstoffe waren in ausreichenden Mengen im Boden vorhanden (siehe Tab. 8), so daß eine entsprechende Düngung nicht mehr erforderlich war. Je nach Behandlungsvariante erfolgte eine zusätzliche N-Gabe von 240 mg N/Gefäß als Nachdüngung zu Blühbeginn.

Die Blattdüngung erfolgte ebenfalls vom Blühbeginn an für vier Wochen in einem Applikationsintervall von sieben Tagen. Um mögliche Spritzschäden zu vermeiden, wurde die Blattapplikation abends, ca. zwei Stunden vor Beginn der Dunkelphase, durchgeführt. Gemäß den Ergebnissen des Verträglichkeitstestes betrug die Konzentration der Spritzlösung bei allen Blattdüngern 0,5%. Je nach Behandlungsvariante wurden die Pflanzen mit Harnstoff bzw. zwei Suspensionsdüngern (Wuxal Typ 6 und Wuxal SD 1168) tropfnaß gespritzt. Die beiden Dünger wurden gemäß Empfehlung des Herstellers alternierend appliziert.

Der Tabelle 10 sind die durchgeführten Behandlungen zu entnehmen. Die jeweiligen Kontrollvarianten wurden mit destilliertem Wasser besprüht. Als Kontrolle gilt die Variante 240 mg N/Gefäß ohne Nachdüngung zu Blühbeginn und ohne Blattapplikation. Sowohl bei den N-Versuchen als auch bei den Mg- und Mikronährstoffversuchen bestand jede Behandlungsvariante aus drei Parallelen (mit je drei Pflanzen/Gef.). Bei Bedarf wurden die Pflanzen mit demineralisiertem Wasser gegossen. Der Durchlauf wurde in Kunststoffschalen aufgefangen und dem jeweiligen Gefäß wieder zugeführt.

Pflanzenschutzmaßnahmen wurden bei Bedarf durchgeführt (Applikation von Metasystox gegen Thrips und von Actallic gegen Weiße Fliege). Es wurde darauf geachtet, daß zwischen der Blattdüngung und der Applikation von Pflanzenschutzmitteln mindestens drei Tage lagen, um eventuelle Schäden durch Wechselwirkungen zwischen Blattdüngern und Pflanzenschutzmitteln zu vermeiden.

Tab. 10: Behandlungsübersicht zur Wirkung der Blattapplikation bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung.

Nährstoffangebot über die Wurzeln	Nährstoffangebot über das Blatt ^{*)} (präventiv)
240/0 ¹⁾ 240/0 240/0	- Harnstoff (HS) Wuxal
0/0 ²⁾ 0/0 0/0	- Harnstoff (HS) Wuxal
240/240 ³⁾ 240/240 240/240	- Harnstoff (HS) Wuxal
0/240 ⁴⁾ 0/240 0/240	- Harnstoff (HS) Wuxal

¹⁾240/0: Die Pflanzen erhielten nur eine N-Startdüngung von 240 mg N/Gef.

²⁾0/0: Die Pflanzen erhielten weder eine Startdüngung noch eine Nachdüngung.

³⁾240/240: Die Pflanzen erhielten sowohl eine N-Startdüngung als auch eine Nachdüngung zu Blühbeginn von jeweils 240 mg N/Gef.

⁴⁾0/240: Die Pflanzen erhielten eine Nachdüngung zu Blühbeginn von 240 mg N/Gef.

^{*)}Vom Blühbeginn an wurden die Pflanzen der Blattdüngungsvarianten je nach Variante alle 7 Tage mit Harnstoff (abgekürzt HS) bzw. mit Wuxal Typ 6 und Wuxal SD 1168 (abgekürzt Wuxal) behandelt. Die beiden Dünger wurden gemäß Empfehlung des Herstellers alternierend appliziert.

Insgesamt wurden 4 Blattapplikationen durchgeführt.

4.2.2.3 Ernte und Probenaufbereitung

Die Entwicklung der Pflanzen wurde mit Hilfe des von LEBARON (1974) erstellten Schemas über die Entwicklungsstadien der Buschbohne verfolgt. Die Ernte erfolgte im R 9-Stadium (Gelbreife) nach einer gesamten Vegetationszeit von 70 Tagen im ersten und 65 Tagen im zweiten Versuchsjahr. Die Blätter (Blattspreiten) jeder einzelnen Pflanze wurden abgeschnitten und die Blattfläche bestimmt. Von jeder Pflanze wurden die reifen Hülsen geerntet, gewogen und anschließend im Trockenschrank bei 65°C getrocknet.

Erfaßt wurden auch die Pflanzenhöhe (ab dem ersten Nodium) und die Zahl der Seitentriebe, bevor die Pflanzen abgeschnitten und zerkleinert wurden. Die Blatt- und Stengelfractionen wurden im Trockenschrank bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend das Trockengewicht der einzelnen Fraktionen ermittelt.

Folgende Wachstums- und Ertragsparameter wurden erfaßt:

- Wuchshöhe
- Blattfläche
- Anzahl der Blüten je Pflanze
- Anzahl der gereiften Hülsen je Pflanze
- Anzahl der Samen je Hülse
- Anzahl der Samen je Pflanze
- durchschnittliches Korngewicht (TKG)
- Kornertrag
- gesamte Biomasseproduktion (TS-Ertrag/Pflanze)
- Harvest-Index (Quotient aus dem Kornertrag und dem Gesamtertrag der oberirdischen Teile).

Für die Laboruntersuchungen wurden die Samen mittels einer Scheibenschwingmühle (Fa. SIEBTECHNIK) in einem Achatgefäß fein vermahlen.

4.3 Chemische Analysen

Chlorophyll- und Mineralstoffgehalte

Das Chlorophyll wurde aus dem gefriergetrockneten und fein gemahlenen Material der Blattfraktion (Blattspreiten aus den Klimakammerversuchen) mittels eines Homogenisators (Ultra-Turrax, Fa. JANKE und KUNKEL KG) mit 80% Aceton extrahiert. Der Chlorophyllgehalt wurde dann photometrisch (Spektralphotometer ZEISS PM 4) bestimmt. Für die Mineralstoffbestimmung wurde das gemahlene Pflanzenmaterial in Quarzriegeln zwölf Stunden bei 500°C verascht. Anschließend wurde der Veraschrückstand in salzsaure Lösung überführt. Nach dem Filtrieren der Aschelösung erfolgte die Bestimmung von Eisen, Mangan, Zink und Kupfer direkt im Filtrat mittels Atomabsorptionsspektralphotometrie (PYE UNICAM SP 1900, Fa. PHILIPS).

Calcium und Magnesium wurden nach Zugabe von 0,2 M LaCl_3 ebenfalls atomabsorptionsspektralphotometrisch gemessen. Kalium wurde nach Zugabe von 0,15 M LiCl emissionsspektralphotometrisch (Flame Photometer 450, Fa. CORNING) und Phosphor nach Zugabe der Vanadat-Molybdat-Reagenz photometrisch (Photometer Typ 1101, Fa. EPPENDORF) bestimmt. Der Gesamtstickstoffgehalt im Korn wurde nach der KJELDAHL-Methode ermittelt. Durch die Multiplizierung des N-Gehaltes mit dem Faktor 6,25 wurde der Rohproteingehalt der Samen errechnet.

4.4 Berechnung der DRIS-Indizes

Zur Erhöhung der Treffsicherheit bei der Diagnose der durch Nährstoffmangel bedingten Ernährungsstörungen der Versuchspflanzen, wurden deshalb die Nährstoff-Indizes (auch DRIS-Indizes genannt) berechnet. Das DRIS-System (Diagnosis and Recommendation Integrated System) ist ein Ende der 50er Jahre von BEAUFILS entwickeltes Verfahren zur Interpretation von Angaben über die Nährstoffkonzentration der Blätter und zur Diagnose von insbesondere durch Nährstoffmangel induzierten Ernährungsstörungen an Kulturpflanzen (JONES, 1981; BEVERLY, 1987a,b; WALWORTH und SUMMER, 1987; BALDOCK et al., 1996).

Diese DRIS-Indizes reflektieren nicht nur den relativen Mangel bzw. Überschuß an Nährstoffen, sie zeigen auch die Rangfolge, in der die Nährstoffe zu potentiell limitierenden Faktoren werden. Die Berechnung der Nährstoff-Indizes erfolgte nach einem von JONES (1981) modifizierten DRIS-Verfahren unter Berücksichtigung von Verbesserungsvorschlägen von BEVERLY (1987a,b) und BALDOCK et al. (1996)³. Die Nährstoffkonzentrationen der Blätter der optimal versorgten Pflanzen (Kontrolle) werden paarweise in Verhältnis zueinander gesetzt und anschließend daraus Funktionen für die Berechnung der Normen entwickelt.

³ Für ausführlichere Informationen sei auf die Arbeiten von u. a. JONES (1981); BEVERLY (1987a,b); WALWORTH und SUMMER (1987); BALDOCK et al. (1996) verwiesen.

Die P-, K-, Ca- und Mg-Indizes beispielsweise werden folgendermaßen berechnet:

$$\text{P-Index} = \frac{f(P/K) + f(P/Ca) + f(P/Mg)}{x}$$

$$\text{K-Index} = \frac{-f(P/K) + f(K/Ca) + f(K/Mg)}{x}$$

$$\text{Ca-Index} = \frac{-f(P/Ca) - f(K/Ca) + f(Ca/Mg)}{x}$$

$$\text{Mg-Index} = \frac{-f(P/Mg) - f(K/Mg) - f(Ca/Mg)}{x}$$

hierbei bedeutet:

x Anzahl der Funktionen im Zähler,

$$f(P/K) = \left(\frac{P/K}{p/k} - 1 \right) * \frac{1000}{VK} \quad \text{wenn } P/K > p/k,$$

$$f(P/K) = \left(1 - \frac{p/k}{P/K} \right) * \frac{1000}{VK} \quad \text{wenn } P/K < p/k,$$

P/K das Verhältnis von P (%) und K (%) einer zu diagnostizierenden Probe,

p/k das Verhältnis von P (%) und K (%) und VK der Variationskoeffizient der P/K-Verhältnisse der Kontrollvariante.

Die DRIS-Indizes für die übrigen Nährstoffe können in analoger Weise berechnet werden. Die DRIS-Indizes der optimal versorgten Pflanzen sind gleich Null und dienen als Normen. Negative Werte deuten auf unzureichende Nährstoffversorgung hin. Je weiter sich der DRIS-Index im negativen Bereich von Null entfernt, um so höher ist die Wahrscheinlichkeit, daß der betroffene Nährstoff ertragslimitierend wirkt. Umgekehrt weisen positive Werte auf ausreichende Versorgung hin und je weiter sich der Index von Null entfernt, um so höher ist der relative Überschuß des betroffenen Elementes im Verhältnis zu den anderen.

4.5 Statistische Auswertung

Bei den Kurzzeitversuchen in der Klimakammer bestand jede Variante aus drei bis vier Wiederholungen. Die Mg- und Mikronährstoff-Mangelversuche wurden dreimal wiederholt (drei Gefäße mit zwei Pflanzen/Gefäß für jede Behandlungsvariante). Bei den Versuchen zu elementspezifischem Mikronährstoffmangel bestand jede Behandlungsvariante aus vier Wiederholungen (vier Gefäße mit einer Pflanze/Gefäß).

Bei den Langzeitversuchen in der Vegetationshalle bestand jede Behandlungsvariante aus drei Wiederholungen (drei Gefäße mit drei Pflanzen/Gefäß). Die Versuche wurden 2fach (zwei Vegetationsjahre) wiederholt.

Die Versuchsergebnisse wurden unter Verwendung des Statistikprogrammpaketes SPSS varianzanalytisch ausgewertet. Zur Prüfung der Mittelwertunterschiede auf Signifikanz wurde der multiple Mittelwertvergleich (Grenzdifferenz-Test nach Scheffé) bei $p \leq 0,05$ (signifikant) und $p \leq 0,01$ (hochsignifikant) angewandt.

5 ERGEBNISSE

5.1 Kurzzeitversuche

5.1.1 *Mg-Mangel*

5.1.1.1 *Ausbildung von Mangelsymptomen*

Drei bis vier Tage nach der Umstellung der Nährlösung auf Mg-Mangel traten Blattverformungen (Verdrehen und Einrollen) an den zweiten und dritten Trifoliaten als erste Symptome des Mg-Mangels auf. Sieben Tage nach Behandlungsbeginn zeigten die verformten Blätter zusätzlich braune oder graue Nekrosen im Interkostalbereich. Die jüngeren Blätter zeigten Welkerscheinungen (Abb. 1 und Abb. 2). Die Primärblätter und die ersten Trifoliate wiesen keine dieser Symptome auf.

Im weiteren Wachstumsverlauf verstärkten sich die Symptome. Die neu gebildeten Blätter, sowohl am Haupttrieb als auch an den Seitentrieben, waren verdreht und mit Punktnekrosen übersät. Im Interkostalfeld waren die älteren Fiederblätter aufgewölbt und die nekrotischen Bereiche teilweise mit Chlorosen umgeben. Diese gingen allmählich in Nekrosen über. Die Blattränder sowie das Gewebe um die Adern blieben intakt und grün. Die Blüten wurden nach kurzer Zeit abgeworfen, so daß kaum Hülsen ausgebildet wurden. Drei Wochen nach Behandlungsbeginn waren die oberen Blätter fast abgestorben, bis auf die Adern, die z. T. noch grün waren. Bis zum Zeitpunkt der Ernte wiesen die Primärblätter keine der oben beschriebenen Mg-Mangelsymptome auf (Abb. 3 und Abb. 4).

Zehn Tage nach Änderung des Nährstoffangebotes über die Wurzeln erfolgte die erste kurative Blattdüngung. Diese machte sich bereits drei Tage nach der ersten Blattapplikation bemerkbar. Während bei den unbehandelten Pflanzen die neu gebildeten Blätter (vor allem an den Seitentrieben) Mg-Mangelsymptome zeigten, waren sie bei den behandelten Pflanzen völlig symptomfrei. Diese positive Wirkung der Blattapplikation hielt bis zum Versuchsende an. Die Blattbezirke, die bis zu Beginn der kurativen Behandlung vom Mg-Mangel betroffen waren, haben sich bis zum Versuchsende nicht mehr davon erholen können. Die Nekrosen breiteten sich auf die gesamte Fläche der betroffenen Blätter aus. Am Ende des Versuches standen an derselben Pflanze nekrotische und gesunde (vor allem die neu gebildeten) Blätter nebeneinander.



volle NL (Kontrolle)

ohne Mg

Abb. 1: Anfangsstadium von Mg-Mangelsymptomen bei Buschbohne 8 Tage nach Behandlungsbeginn. Alter der Pflanzen : 28 Tage.



Abb. 2: Mg-Mangelsymptome bei Buschbohne (Nahaufnahme)



**volle NL
(Kontrolle)**

ohne Mg

**ohne Mg
+ präv. BD¹⁾**

**ohne Mg
+ kur. BD²⁾**

Abb. 3: Ausprägung von Mg-Mangelsymptomen bei Buschbohne und die Wirkung präventiver bzw. kurativer Blattdüngungsmaßnahmen.

¹⁾ 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 (Mg1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2)

²⁾ 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 (Mg1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2).
Alter der Pflanzen: 42 Tage.



Abb. 4: Ausprägung von Mg-Mangelsymptomen bei kurativ behandelten Mangelpflanzen (Nahaufnahme).

Bei der präventiven Blattapplikation waren die Pflanzen bis zum 18. Tag nach Behandlungsbeginn (Umstellung der Nährlösung auf Mg-Mangel) symptomfrei. Danach zeigten einige Mg-Mangelpflanzen jedoch eine leichte Chlorose mit kleinen braunen Punkten im Interkostalfeld mittlerer und z. T. auch oberer Blätter, die als Zeichen des Mg-Mangels gedeutet wurde. Im Hinblick auf die Mangelsymptomausprägung ließen die verwendeten Blattdünger weder bei der präventiven noch bei der kurativen Behandlung Wirksamkeitsunterschiede erkennen.

5.1.1.2 Nährstoff- und Chlorophyllgehalt der Blätter

Auf das verminderte Mg-Angebot über die Wurzeln reagierten die Pflanzen mit der Ausbildung von Mangelsymptomen. Die beschriebene Symptomausprägung spiegelte sich im Nährstoff- und Chlorophyllgehalt der Blätter wider (Tab. 11).

Tab. 11: Wirkung der Blattapplikation auf den Mg- und Chlorophyllgehalt der Blätter von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln [Mittelwert \pm SD (Standardabweichung), n = 6].

Behandlung	Mg-Gehalt (mg/g TS)	Chlorophyllgehalt (mg/g TS)
volle NL (Kontrolle)	3,3 \pm 1,2	18,6 \pm 1,0
ohne Mg	0,6 \pm 0,1	4,2 \pm 0,9
ohne Mg mit präv. BD ¹⁾	4,9 \pm 1,2	17,4 \pm 1,0
ohne Mg mit kur. BD ²⁾	3,9 \pm 0,9	14,4 \pm 1,9
GD (p£ 0,05)	0,9	1,9
GD (p£ 0,01)	1,2	2,5

¹⁾ 7 präventive Blattapplikation mit Wuxal SD 1525 (Mg1 bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2).

²⁾ 4 kurative Blattapplikation mit Wuxal SD 1525 (Mg1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2).
Alter der Pflanzen: 42 Tage.

Die Unterversorgung der Pflanzen mit Mg bewirkte eine Verminderung des Mg- und Chlorophyllgehaltes um 80% bzw. um 75%. Sowohl durch die präventive als auch durch die kurative Blattapplikation wurde eine Abnahme der Mg-Konzentration im Blatt verhindert. In beiden Behandlungsvarianten ist sogar eine Zunahme des Mg-Gehaltes um 50% bei präventiver und 20% bei kurativer Blattdüngung zu verzeichnen.

Der Chlorophyllgehalt der präventiv behandelten Mg-Mangelpflanzen lag nur unwesentlich (5%) unter dem der Kontrolle. Die Blätter der kurativ behandelten Pflanzen enthielten hochsignifikant weniger Chlorophyll als die der vollversorgten bzw. der präventiv behandelten Pflanzen. Eine von der Zusammensetzung der Dünger abhängige Veränderung des Mg- und Chlorophyllgehaltes der Blätter wurde nicht festgestellt.

5.1.1.3 *Vegetatives Wachstum*

Die Unterversorgung der Pflanzen mit Mg führte zu einer hochsignifikanten Verminderung der Wuchshöhe und Blattfläche (Abb. 5) sowie der Stengel- und Wurzeltrockenmasse (Abb. 6). Durch die präventive Blattdüngung wurden die negativen Auswirkungen des Mg-Mangels auf das vegetative Wachstum wirkungsvoll verhindert. Die kurative Blattapplikation war hingegen eindeutig weniger wirksam. Trotzdem wurde beispielsweise die Blattfläche durch die Blattapplikation im Vergleich zu der Variante ohne Blattdüngung deutlich ($p \leq 0,01$) erhöht. Wenn auch nicht signifikant, so wurde der TS-Ertrag der Stengel- und Wurzelfraktion durch die kurative Blattapplikation um 30% bis 50% erhöht über den der Mg-Mangelvariante.

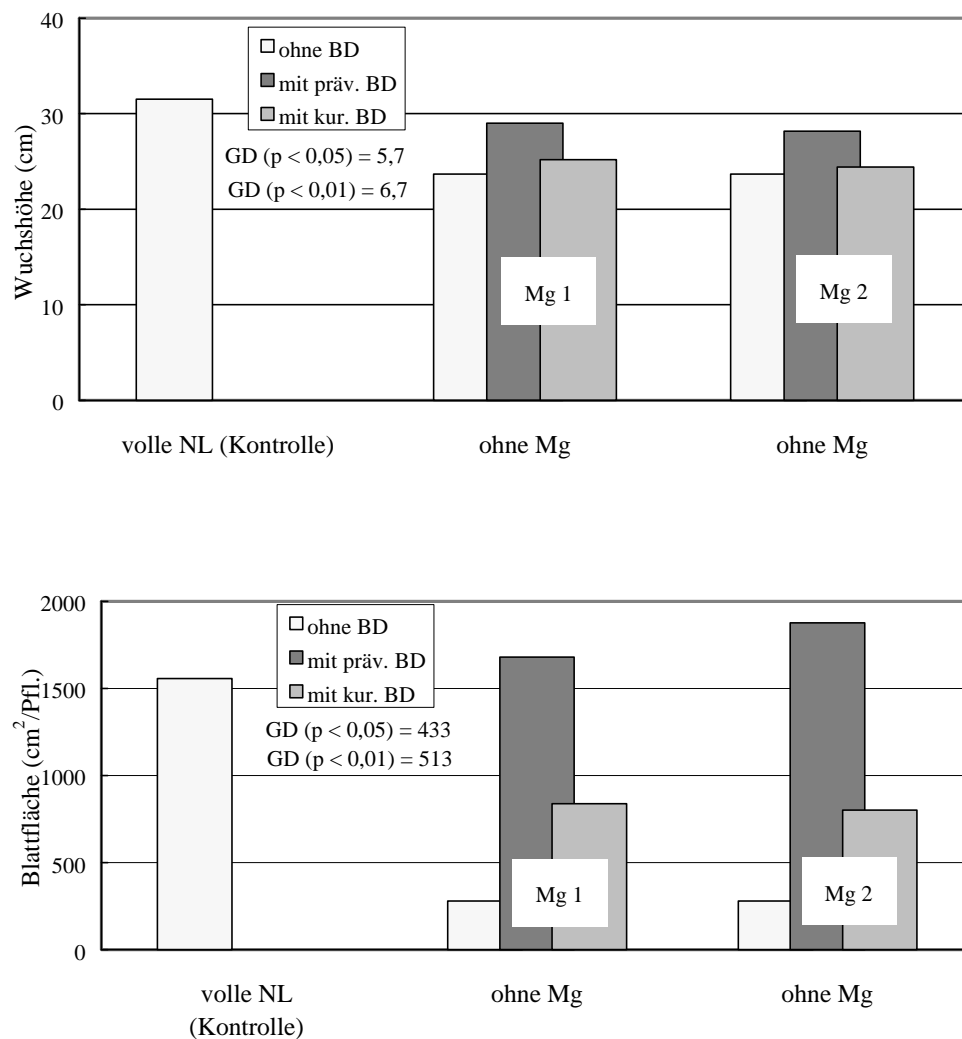


Abb. 5: Wirkung der Blattapplikation auf die Wuchshöhe und die Blattfläche von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln.

präv. BD: 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 (Mg 1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2).
kur. BD: 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 (Mg 1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2).
Alter der Pflanzen: 42 Tage.

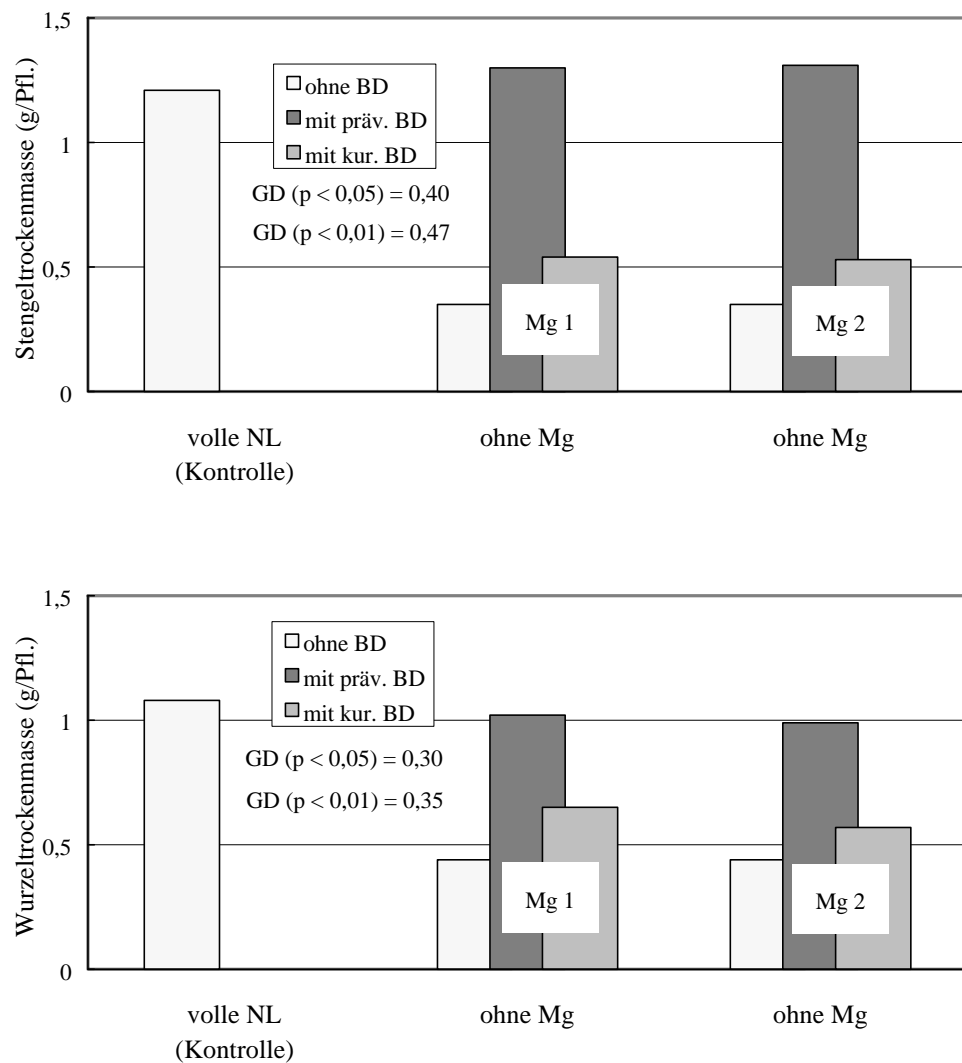


Abb. 6: Wirkung der Blattapplikation auf die Stengel- und Wurzel-trockenmasse von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln.

präv. BD: 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 (Mg 1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2).

kur. BD: 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 (Mg 1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2).

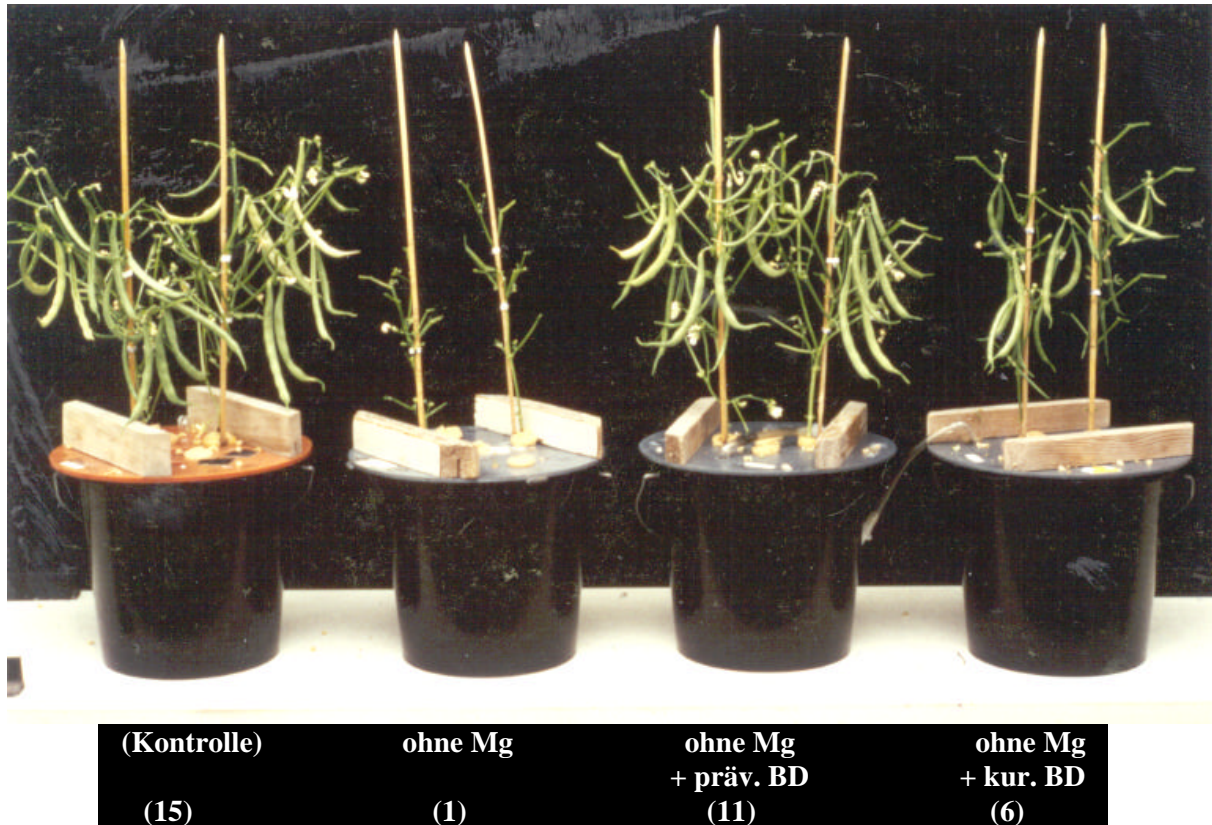
Alter der Pflanzen: 42 Tage.

5.1.1.4 Generative Entwicklung und Biomasseproduktion

Die unterschiedliche Mg-Versorgung der Pflanzen beeinflusste weder deren Eintritt in die generative Phase noch die Dauer der Blühperiode. Bezogen auf die Anzahl der geernteten Hülsen waren jedoch behandlungsbedingte Unterschiede zu verzeichnen (Abb. 7). Zwar bildeten auch die Mangelpflanzen Blüten, aus diesen entwickelten sich jedoch kaum Hülsen. Anders ausgedrückt ermöglichte die Blattapplikation den Mangelpflanzen die Hülsenentwicklung. Diesbezüglich war bei der Mg-Variante die präventive Blattdüngung der kurativen deutlich ($p \leq 0,01$) überlegen.

Die höchste Hülsenzahl setzten die vollversorgten Pflanzen an, gefolgt von den präventiv behandelten. Das war für die Höhe des Hülsenertrages ausschlaggebend (Abb. 8), da die verschiedenen Behandlungen hinsichtlich des durchschnittlichen Fruchtgewichtes keine statistisch gesicherten Unterschiede aufwiesen. Bei der gesamten Biomasse bestand kein Unterschied zwischen der Vollversorgung und der präventiven Mg-Blattdüngung. Beide Varianten waren der kurativen Behandlung hochsignifikant überlegen. Wirksamkeitsunterschiede aufgrund der Zusammensetzung der Dünger wurden nicht festgestellt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß der Mg-Mangel das Wachstum und die Ertragsbildung der Pflanzen hochsignifikant verminderte. Bezüglich der meisten erfaßten Parameter konnte ein voller Ausgleich in der Mg-Versorgung mit Hilfe der präventiven Blattapplikation erzielt werden, durch die kurative Behandlung jedoch nicht.



(die Zahlen in Klammern stellen die mittlere Anzahl der Hülsein je Pflanze dar)

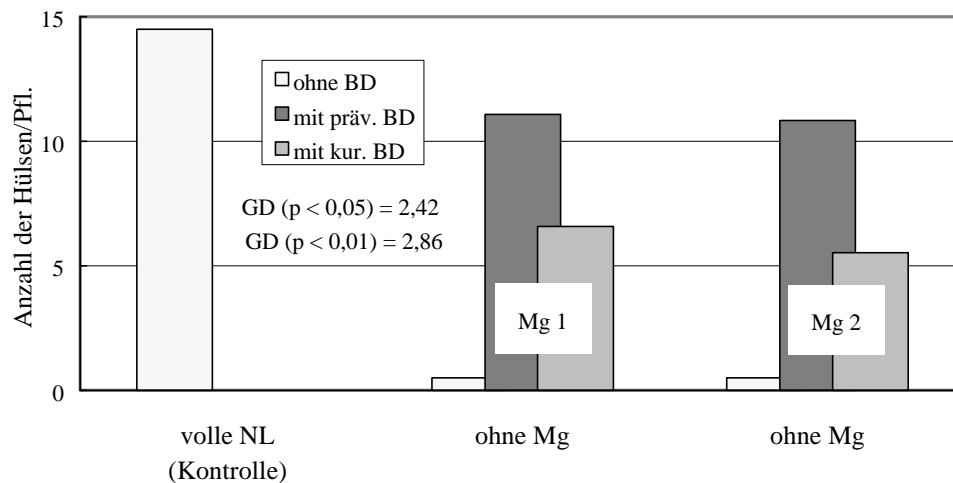


Abb. 7: Wirkung der Blattapplikation auf die Hülseinbildung (Anzahl der Hülsein je Pflanze) von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln.

präv. BD: 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 (Mg 1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2).
kur. BD: 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 (Mg 1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2).
Alter der Pflanzen: 42 Tage.

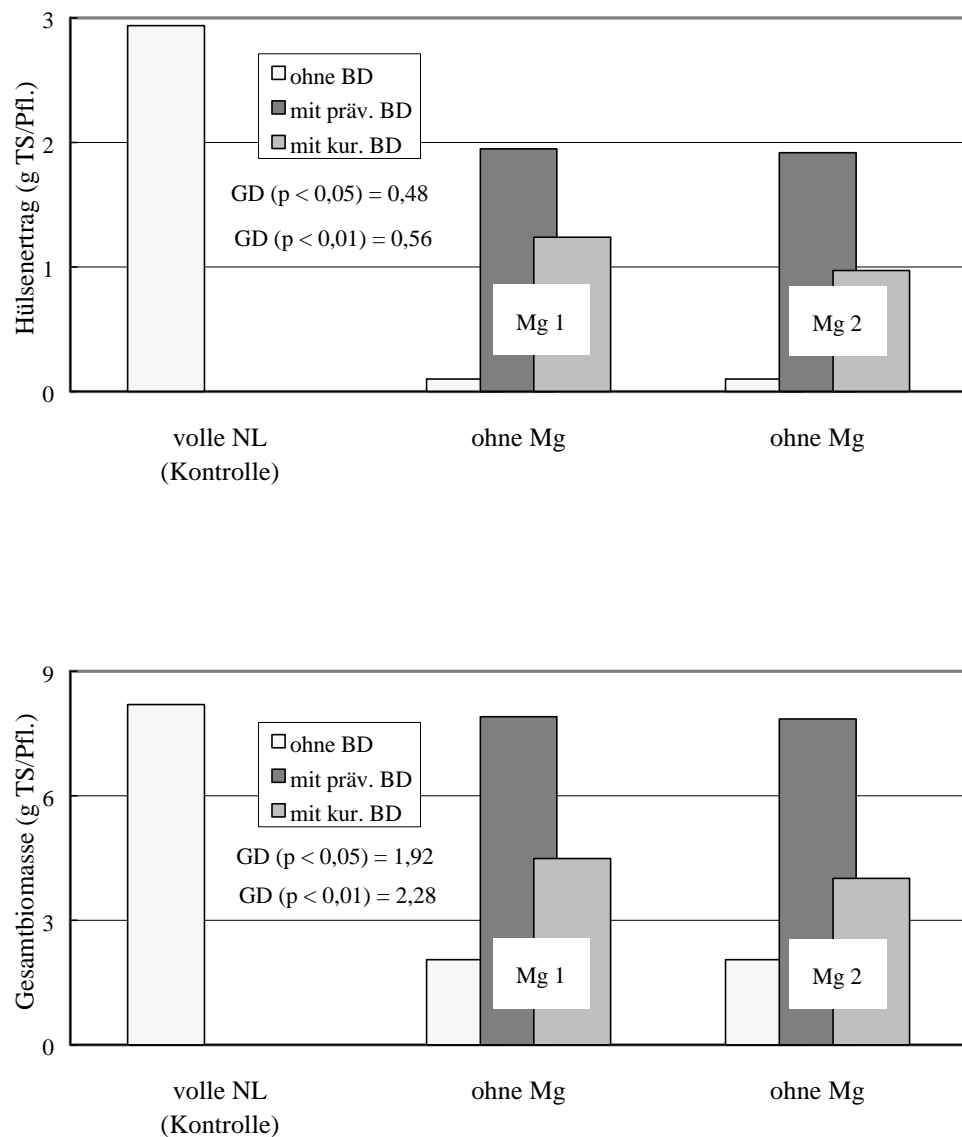


Abb. 8: Wirkung der Blattapplikation auf den Hülserertrag und die Gesamtbiomasse von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln.

präv. BD: 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 (Mg 1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2).
kur. BD: 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 (Mg 1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2).
Alter der Pflanzen: 42 Tage.

5.1.1.5 Nährstoffaufnahme und Nährstoffverteilung

Zur Beurteilung der Auswirkungen des Nährstoffmangels und des Effektes der Blattapplikation auf die Nährstoffaufnahme und -verteilung wurde sowohl der Nährstoffgehalt (Nährstoffkonzentration) der verschiedenen Pflanzenteile auch der Gesamtgehalt der einzelnen Nährstoffe (Nährstoffkonzentration x TS-Ertrag) ermittelt. Besondere Aufmerksamkeit wurde dem Nährstoffgehalt der Blätter und der Wurzeln als wichtigsten Organen der Nährstoffaufnahme sowie dem Nährstoffgehalt der Hülsen als dem ökonomisch wertvollsten Anteil an der produzierten Biomasse gewidmet.

Nährstoffgehalt der Blätter

Wie aus Tabelle 12 ersichtlich, führte das fehlende Mg-Angebot in der Nährlösung erwartungsgemäß zu einer Verminderung des Mg-Gehaltes der Blätter ($p \leq 0,01$). Die ermittelte Mg-Konzentration 0,7 mg/g TS im Blatt liegt weit unter dem von BERGMANN (1983) für Buschbohne angegebenen Grenzwert von 2 mg Mg/g TS. Auch der Ca-Gehalt wurde hochsignifikant vermindert. Im Gegensatz dazu übte der Mg-Mangel keinen wesentlichen Einfluß auf den P- und K-Gehalt der Blätter aus.

Unabhängig vom Applikationszeitpunkt und der Zusammensetzung der Dünger hatte die Blattapplikation in der Mehrzahl der Varianten keinen statistisch gesicherten Einfluß auf den P-Gehalt der Blätter, während sie eine zum Teil signifikante Abnahme des K-Gehaltes zur Folge hatte. Während die vorbeugende Mg-Blattdüngung dem negativen Einfluß des Mg-Mangels auf die Ca-Aufnahme entgegenwirken konnte, war die kurative Behandlung dazu nicht in der Lage. Die präventive Blattdüngung konnte nicht nur eine Abnahme des Mg-Gehaltes der Blätter verhindern, sondern die Mg-Konzentration über die der Kontrolle hinaus signifikant steigern. Diese positive Wirkung der Blattapplikation fiel bei der kurativen Behandlung weniger deutlich aus.

Tab. 12: Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Blätter von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln [Mittelwert und SD (in Klammern), n = 10].

B e h a n d l u n g	Nährstoffgehalt (mg/g TS)				Nährstoffgehalt (µg/g TS)			
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)	4,6 (0,8)	33,0 (1,6)	47,6 (4,5)	3,1 (0,3)	257 (95)	42,5 (7,1)	29,3 (6,5)	5,8 (1,6)
ohne Mg	4,9 (0,5)	34,3 (1,9)	33,7 (4,2)	0,7 (0,2)	187 (53)	56,1 (9,0)	33,1 (3,1)	7,6 (3,2)
ohne Mg mit präv. BD ¹⁾ Wuxal SD 1525	6,1 (1,4)	29,1 (3,5)	43,6 (7,8)	4,1 (0,9)	215 (16)	67,7 (4,8)	55,1 (9,0)	19,7 (6,5)
Wuxal SD 1390	4,7 (0,4)	29,0 (3,1)	46,5 (4,2)	4,1 (0,8)	218 (30)	73,4 (10,3)	58,9 (14,6)	20,5 (8,1)
ohne Mg mit kur. BD ²⁾ Wuxal SD 1525	3,9 (0,8)	27,9 (3,0)	37,6 (5,7)	2,9 (0,6)	212 (20)	70,0 (20,8)	38,7 (10,1)	16,2 (6,3)
Wuxal SD 1390	4,2 (0,3)	30,4 (2,0)	40,0 (8,5)	3,5 (1,0)	252 (64)	89,6 (24,2)	44,2 (15,0)	21,0 (8,7)
GD (p£ 0,05) GD (p£ 0,01)	1,1 1,3	3,6 4,3	8,5 10,1	1,0 1,2	76 90	20,4 24,2	14,9 17,6	8,8 10,4
B e h a n d l u n g	Gesamtnährstoffgehalt (rel. Werte)							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle) abs. Werte ³⁾ rel. Werte	14,0 100	97,4 100	138,8 100	9,0 100	704 100	129,9 100	83,6 100	16,4 100
ohne Mg	38	39	27	9	29	41	44	51
ohne Mg mit präv. BD ¹⁾ Wuxal SD 1525	148	112	109	159	112	189	231	401
Wuxal SD 1390	122	109	119	161	115	200	242	414
ohne Mg mit kur. BD ²⁾ Wuxal SD 1525	57	59	55	66	62	110	95	201
Wuxal SD 1390	57	60	55	73	67	128	135	237

¹⁾ 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 bzw. Wuxal SD 1390.

²⁾ 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 bzw. Wuxal SD 1390.

³⁾ Absolute Werte für den Gesamtgehalt an Makronährstoffen (mg) bzw. Mikronährstoffen (µg) der Blattfraktion. Zur Ermittlung der relativen Werte wurden die absoluten Werte der Kontrolle 100% gesetzt.

Alter der Pflanzen: 42 Tage.

Während der Mg-Mangel im Vergleich zur Kontrolle eine Abnahme des Fe-Gehaltes um 30% zur Folge hatte, wurde die Konzentration der anderen Mikronährstoffe Mn, Zn und Cu um 10% bis 30% erhöht. Diese Konzentrationsveränderungen waren nicht statistisch gesichert. Die Blattapplikation bewirkte nur eine mäßige Erhöhung des Fe-Gehaltes. Eine Anhebung der Fe-Konzentration der Blätter auf das Niveau der Vollversorgung wurde nicht erreicht. Unabhängig von der Düngerzusammensetzung und vom Applikationszeitpunkt wurde der infolge der Mg-Unterversorgung der Pflanzen erhöhte Mn-, Zn- und Cu-Gehalt durch die Blattdüngung signifikant bis hochsignifikant weiter gesteigert.

Der Gesamtgehalt an den untersuchten Makronährstoffen der Blätter wurde durch die Mg-Unterversorgung der Pflanzen hochsignifikant vermindert (Tab. 12). Dies gilt besonders für Mg, dessen Gesamtgehalt im Vergleich zur Kontrolle um 90% zurückging. Ebenfalls stark vermindert durch den Mg-Mangel wurde die gesamte Menge an Mikronährstoffen der Blätter.

Den negativen Auswirkungen des Mg-Mangels auf die insgesamt in die Blätter aufgenommenen Nährstoffmengen wurden durch die Blattapplikation wirkungsvoll begegnet, wenn diese präventiv erfolgte. Das gilt sowohl für die Makronährstoffe als auch für die Spurenelemente. Auch durch die kurative Blattdüngung konnte ein Ausgleich der verminderten Mikronährstoffaufnahme in die Blättern als Folge Mg-Mangels erreicht werden. Ausnahme hiervon machte Eisen. Der Gesamtgehalt an Mn, Zn und Cu der mit den Mg-Blattdüngern behandelten Mangelpflanzen weisen sehr deutlich auf eine angebotsbedingte Aufnahme dieser Elemente aus den Blattdüngern hin, die neben Mg in verwendeten Mg-Blattdüngerformulierungen enthalten waren.

Nährstoffgehalt der Wurzeln

Wie aus Tabelle 13 ersichtlich, wurde die P- und K-Konzentration der Wurzeln durch den Mg-Mangel leicht erhöht. Als Folge des Mg-Mangels stieg der Ca-Gehalt der Wurzeln hochsignifikant an. Erwartungsgemäß wurde der Mg-Gehalt der Wurzeln besonders stark vermindert ($p \leq 0,01$). Während der K-Gehalt der Wurzeln aufgrund der Blattapplikation leicht weiter anstieg, wurde eine deutliche Abnahme des P-Gehaltes festgestellt. Diese Wirkung der Mg-Blattapplikation auf die Aufnahme beider Elemente in die Wurzeln war unabhängig vom Applikationszeitpunkt und von der Zusammensetzung der Blattdünger.

Der Ca-Gehalt der Wurzeln, der infolge des Mg-Mangels hochsignifikant zugenommen hatte, wurde durch die präventive Blattapplikation wieder auf das Gehaltsniveau der Kontrollpflanzen gesenkt. Bei der kurativen Blattdüngung blieb der Ca-Gehalt der Wurzeln um 10% bis 20% über dem der Wurzeln vollversorgter Pflanzen. Im Vergleich zur Mangelvariante wurde der Mg-Gehalt der Wurzeln unabhängig vom Applikationstermin und der Zusammensetzung der Mg-Blattdünger durch die Blattapplikation kaum beeinflusst. Er betrug weniger als 40% des Mg-Gehaltes der Wurzeln der Kontrollpflanzen.

Die Unterversorgung der Pflanzen mit Mg bewirkte eine leichte Abnahme des Mn-Gehaltes und eine hochsignifikante Zunahme des Fe-Gehaltes der Wurzeln. Dagegen nahm der Cu-Gehalt leicht, der Zn-Gehalt sogar erheblich zu ($p \leq 0,01$). Im Vergleich zur Mg-Mangelvariante wurde der Fe-Gehalt der Wurzeln durch die Blattapplikation auf das 6- bis 8-fache erhöht. Die Wurzeln der mit Mg-Blattdüngern behandelten Mangelpflanzen wiesen sogar einen um 30% bis über 80% höheren Fe-Gehalt auf als die der Kontrollpflanzen. Durch die Blattdüngung wurde der leicht verminderte Mn-Gehalt der Wurzeln bis auf das Niveau des Mn-Gehaltes der Kontrollpflanzen gesteigert. Die präventive Blattapplikation wirkte der durch den Mg-Mangel verstärkten Zn- und Cu-Aufnahme der Wurzeln deutlich entgegen.

Tab. 13: Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Wurzeln von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln [Mittelwert und SD (in Klammern), n = 10].

B e h a n d l u n g	Nährstoffgehalt (mg/g TS)				Nährstoffgehalt (µg/g TS)			
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)	17,9 (1,0)	69,7 (3,9)	10,3 (0,7)	5,7 (0,2)	1588 (50)	75,4 (9,7)	180,7 (10,6)	16,6 (3,8)
ohne Mg	20,3 (0,3)	73,9 (8,0)	13,7 (0,5)	1,8 (0,1)	338 (119)	71,6 (5,5)	413,4 (104,7)	17,9 (2,6)
ohne Mg mit präv. BD¹⁾								
Wuxal SD 1525	19,1 (0,8)	78,05 (5,4)	10,1 (0,6)	2,0 (0,1)	2130 (122)	89,7 (2,2)	207,0 (11,9)	15,6 (1,0)
Wuxal SD 1390	18,7 (0,5)	76,8 (2,3)	10,9 (0,9)	1,9 (0,1)	2722 (85)	100,1 (3,3)	296,0 (17,4)	15,8 (1,5)
ohne Mg mit kur. BD²⁾								
Wuxal SD 1525	18,2 (1,3)	80,3 (6,8)	12,37 (0,7)	2,2 (0,2)	2908 (1068)	73,0 (4,1)	295,4 (88,0)	22,0 (4,2)
Wuxal SD 1390	18,1 (1,9)	80,4 (5,7)	11,7 (0,8)	2,6 (0,1)	2772 (964)	94,4 (8,0)	241,6 (158,0)	19,3 (1,6)
GD (p£ 0,05)	1,5	7,9	1,0	0,2	830	8,5	120,2	3,8
GD (p£ 0,01)	1,8	9,4	1,2	0,3	984	10,1	142,5	4,5
B e h a n d l u n g	Gesamtnährstoffgehalt (rel. Werte)							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)								
abs. Werte³⁾	16,9	75,4	11,1	6,1	1715	82,9	196,1	17,6
rel. Werte	100	100	100	100	100	100	100	100
ohne Mg	48	44	55	12	8	38	89	44
ohne Mg mit präv. BD¹⁾								
Wuxal SD 1525	83	103	91	30	126	110	106	91
Wuxal SD 1390	110	101	96	32	157	120	148	90
ohne Mg mit kur. BD²⁾								
Wuxal SD 1525	60	69	73	20	105	57	94	83
Wuxal SD 1390	61	60	60	21	91	65	68	62

¹⁾ 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 bzw. Wuxal SD 1390.

²⁾ 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 bzw. Wuxal SD 1390.

³⁾ Absolute Werte für den Gesamtgehalt an Makronährstoffen (mg) bzw. Mikronährstoffen (µg) der Wurzelfraktion. Zur Ermittlung der relativen Werte wurden die absoluten Werte der Kontrolle 100% gesetzt.

Alter der Pflanzen: 42 Tage.

Der Mg-Mangel hatte eine hochsignifikante Verminderung der gesamten Makronährstoffmengen der Wurzeln zur Folge, wobei Mg erwartungsgemäß am stärksten betroffen war. Die negativen Auswirkungen des Mg-Mangels auf die P-, K- und Ca-Aufnahme in die Wurzeln konnten durch die präventive Blattapplikation weitgehend ausgeglichen werden. Die kurative Behandlung war dazu nicht in der Lage. Dennoch akkumulierten die kurativ behandelten Mangelpflanzen eine um 20% bis 60% höhere Makronährstoffmenge in den Wurzeln als die unbehandelten. Unabhängig vom Applikationstermin war die Blattdüngung dagegen außerstande, die Mg-Konzentration der Wurzeln auf das Niveau der Kontrolle anzuheben. Das kommt besonders in den gesamten Makronährstoffmengen zum Ausdruck.

Infolge des Mg-Mangels wurde der Gesamtgehalt an Mikronährstoffen der Wurzeln hochsignifikant vermindert. Ausnahme machte hierbei Zink, dessen Gesamtgehalt lediglich um 10% zurückging. Unabhängig von der Zusammensetzung der Dünger wurde ein Ausgleich der verminderten Mikronährstoffaufnahme in die Wurzeln nur bei der präventiven Blattapplikation der Mangelpflanzen erreicht.

Nährstoffgehalt der Hülsen

Neben dem Proteingehalt wird dem Mineralstoffgehalt der grünen Bohnen als Qualitätskriterium besondere Bedeutung beigemessen. Obwohl die Hülsen die handelsübliche Größe der grünen Bohnen noch nicht erreicht hatten, wurden sie auf Mineralstoffe untersucht, um Informationen darüber zu erhalten, wie der Nährstoffgehalt der Hülsen von der Blattdüngung bei unzureichender Mg-Versorgung der Pflanzen über die Wurzeln beeinflusst wurde.

Da die dem Mg-Mangel ausgesetzten Pflanzen ohne Blattdüngung kaum Hülsen bildeten, kann über deren Nährstoffgehalt keine Aussage gemacht werden. Unter Berücksichtigung des gestörten Wachstums und der verminderten Nährstoffaufnahme kann aber angenommen werden, daß die Unterversorgung der Pflanzen mit Mg auch die Einlagerung von Nährstoffen in die Hülsen negativ beeinflusste (Tab. 14).

Tab. 14: Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Hülsen von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln [Mittelwert und SD (in Klammern), n = 10].

Behandlung	Nährstoffgehalt (mg/g TS)				Nährstoffgehalt (µg/g TS)			
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)	5,7 (0,2)	33,2 (1,8)	10,4 (1,1)	1,9 (0,1)	109 (13)	26,7 (4,5)	30,4 (2,6)	5,0 (0,7)
ohne Mg ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
ohne Mg mit präv. BD ²⁾ Wuxal SD 1525	6,0 (0,1)	33,3 (1,2)	10,8 (1,6)	1,3 (0,1)	113 (18)	32,1 (2,1)	37,7 (0,5)	9,8 (1,8)
Wuxal SD 1390	5,5 (0,4)	30,6 (0,8)	9,3 (0,6)	1,6 (0,1)	114 (14)	38,8 (5,0)	35,0 (4,0)	11,2 (2,9)
ohne Mg mit kur. BD ³⁾ Wuxal SD 1525	6,0 (0,3)	36,1 (3,5)	11,3 (0,7)	1,4 (0,1)	146 (35)	35,8 (11,8)	35,9 (8,1)	9,5 (2,3)
Wuxal SD 1390	6,5 (0,4)	38,8 (2,9)	11,5 (1,0)	1,5 (0,1)	141 (35)	43,8 (8,4)	35,3 (4,0)	9,7 (2,3)
GD (p£ 0,05)	1,9	9,0	4,3	0,25	45	17,1	11,5	4,1
GD (p£ 0,01)	2,6	12,0	5,9	0,33	56	23,0	15,4	5,5
Behandlung	Gesamtnährstoffgehalt (rel. Werte)							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle) abs. Werte ³⁾ rel. Werte	16,7 100	97,5 100	30,7 100	5,6 100	317 100	77,3 100	88,7 100	14,5 100
ohne Mg	-	-	-	-	-	-	-	-
ohne Mg mit präv. BD ¹⁾ Wuxal SD 1525	70	66	69	46	70	81	83	134
Wuxal SD 1390	63	60	57	46	69	94	76	145
ohne Mg mit kur. BD ²⁾ Wuxal SD 1525	44	47	46	30	62	57	48	80
Wuxal SD 1390	38	39	36	26	42	55	38	64

¹⁾ Bei Mg-Mangel wurden keine Hülsen gebildet.

²⁾ 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 bzw. Wuxal SD 1390.

³⁾ 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 bzw. Wuxal SD 1390.

⁴⁾ Absolute Werte für den Gesamtgehalt an Makronährstoffen (mg) bzw. Mikronährstoffen (µg) der der Hülsen. Zur Ermittlung der relativen Werte wurden die absoluten Werte der Kontrolle 100% gesetzt.

Alter der Pflanzen: 42 Tage.

Unabhängig von der Zusammensetzung der Dünger hatte die präventive Mg-Blattapplikation keinen wesentlichen Einfluß auf den P-, K- und Ca-Gehalt der Hülsen. Die Hülsen der kurativ behandelten Mg-Mangelpflanzen hingegen wiesen einen leicht erhöhten P-, K- und Ca-Gehalt auf als die der Kontrolle. Unabhängig von der Zusammensetzung der Dünger und vom Applikationstermin war die Mg-Konzentration der Hülsen trotz der Blattapplikation hochsignifikant niedriger als die der Kontrolle. Ebenfalls unabhängig von Applikationszeitpunkt und Zusammensetzung der Dünger wiesen die Hülsen der mit den Mg-Blattdüngern behandelten Mg-Mangelpflanzen einen höheren Mikronährstoffgehalt auf als die der Kontrollpflanzen.

Die Gesamtnährstoffgehalte der Hülsen lassen die Auswirkungen des Nährstoffmangels sowie die Wirkung der Blattapplikation besser erkennen als die Nährstoffkonzentrationen. Die Einlagerung der Makronährstoffe in die Hülsen wurde trotz der Blattapplikation hochsignifikant beeinträchtigt. Im Vergleich zur Kontrolle lagerten die Mg-Mangelpflanzen trotz der präventiven Blattapplikation 30% bis 40% weniger P, K und Ca sowie 50% bis 70% weniger Mg in die Hülsen ein. Im allgemeinen akkumulierten die Hülsen der kurativ behandelten Mg-Mangelpflanzen etwa die Hälfte der Makronährstoffmengen wie die der präventiv behandelten.

Die mit den Blattdüngern behandelten Mg-Mangelpflanzen lagerten eine hochsignifikant geringere Mikronährstoffmenge in die Hülsen ein als die Kontrollpflanzen. Zwischen der präventiven und der kurativen Blattapplikation ergaben sich Unterschiede in der Höhe der eingelagerten Mikronährstoffmenge von 20 bis 40% zugunsten der vorbeugenden Blattdüngungsmaßnahmen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß bis zu dem Entwicklungsstadium der Bohnen, bei dem die Ernte erfolgte, die Blattapplikation außerstande war, der Qualitätsminderung der Ernteprodukte, die aufgrund unzureichender Mg-Versorgung der Pflanzen über die Wurzeln hervorgerufen wurde, voll entgegenzuwirken.

Gesamtnährstoffaufnahme

Ein umfassendes Bild über die Auswirkungen des unzureichenden Mg-Angebotes im Nährmedium und die Wirkung der Blattapplikation ergeben die von der gesamten Pflanze aufgenommenen Nährstoffmengen (Tab. 15). Diese stellen die Gesamtnährstoffaufnahme dar.

Tab. 15: Wirkung der Blattapplikation auf die Gesamtnährstoffaufnahme (gesamte Menge an Makro- bzw. Mikronährstoffen je Pflanze) von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln.

Behandlung	Gesamte Nährstoffmenge je Pflanze (rel. Werte)							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)								
abs. Werte ¹⁾	53,3	316,9	208,0	22,4	2911	302,8	408,1	48,5
rel. Werte	100	100	100	100	100	100	100	100
ohne Mg	28	27	29	8	15	34	57	40
ohne Mg mit präv. BD²⁾								
Wuxal SD 1525	98	94	103	87	115	138	132	225
Wuxal SD 1390	98	92	109	90	134	150	153	234
ohne Mg mit kur. BD³⁾								
Wuxal SD 1525	52	56	57	42	107	81	81	130
Wuxal SD 1390	50	51	54	44	90	90	68	129

¹⁾ Absolute Werte für die Gesamtmenge an Makronährstoffen (mg) bzw. Mikronährstoffen (µg) je Pflanze. Zur Ermittlung der relativen Werte wurden die absoluten Werte der Kontrolle 100% gesetzt.

²⁾ 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 bzw. Wuxal SD 1390.

³⁾ 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 bzw. Wuxal SD 1390.
Alter der Pflanzen: 42 Tage.

Der Tabelle 15 kann entnommen werden, daß durch die Unterversorgung der Pflanzen mit Mg die Makronährstoffaufnahme hochsignifikant abnahm. Im Vergleich zur optimalen Nährstoffversorgung wurde beispielsweise die insgesamt von der Pflanze aufgenommene Menge durch den Mg-Mangel um 70% bei P, K und Ca und um über 90% bei Mg vermindert. Mit Ausnahme von Mg konnten die negativen Auswirkungen des Mg-Mangels auf die Gesamtaufnahme der übrigen Makronährstoffe durch die Blattapplikation weitestgehend ausgeglichen werden, wenn sie präventiv vorgenommen wurde.

Die kurative Blattdüngung war wesentlich unterlegen. Auch die insgesamt von der Pflanze aufgenommene Mikronährstoffmenge wurde durch den Mg-Mangel hochsignifikant negativ beeinflusst. Die Blattapplikation konnte dieser Beeinträchtigung deutlich entgegenwirken, insbesondere wenn sie vorbeugend erfolgte. Die präventiv behandelten Mg-Mangelpflanzen akkumulierten sogar hochsignifikant mehr Spurenelemente als die Kontrollpflanzen. Das ist ein Hinweis dafür, daß die in den Mg-Blattdüngern enthaltenen Spurenelemente über das Blatt aufgenommen wurden.

Zusammenfassend wird festgehalten, daß hinsichtlich Wachstum und Biomasseproduktion keine Wirksamkeitsunterschiede festgestellt werden konnten, die auf die Zusammensetzung der Dünger zurückzuführen wären. Die von der Anwesenheit des Stickstoffs in dem Dünger Wuxal SD 1390 im Vergleich zu Wuxal SD 1525 zu erwartende stimulierende Wirkung auf das Wachstum, die Ertragsbildung oder die Nährstoffaufnahme, konnte nicht bestätigt werden.

5.1.2 Multipler Mikronährstoffmangel

5.1.2.1 *Ausbildung von Mangelsymptomen*

Die ersten Zeichen des Mangels traten bereits zwei Tage nach Behandlungsbeginn in Form einer leichten Aufhellung der jüngeren Blätter auf. Acht Tage nach Behandlungsbeginn waren die jüngeren und jüngsten Blätter fast aller Mangelpflanzen chlorotisch, wobei die jüngeren zusätzlich kleine braune Punkte im Interkostalbereich bei Grünbleiben der Blattadern zeigten (Abb. 9 und Abb. 10). Die hier beschriebene Ernährungsstörung war polyfaktoriell bedingt mit visuell ausgeprägten Symptomen von Fe- und Mn-Mangel.

Zehn Tage nach Beginn der Unterversorgung waren die jüngeren und jüngsten Blätter einschließlich der neu gebildeten Blätter an den Seitentrieben in den Interkostalbezirken nicht mehr hellgrün, sondern gelb-weißlich gefärbt und wiesen punktförmige braune Flecken auf, welche als Hinweis auf Mn-Mangel gedeutet werden könnten. Etwa von der Blattmitte in Richtung Blattspitze waren die Blattrandgewebe welk. Später waren sie nach totaler Chlorose und Interkostalnekrase vertrocknet und fielen ab.

Die Primärblätter waren bis zum Versuchsende (20 Tage nach Umstellung der Nährstoffversorgung auf Mangel) normal dunkelgrün, während die mittleren Blätter hellgrün waren. Die kurative Behandlung der Pflanzen mit Mikronährstoff-Blattdüngern begann, ähnlich wie bei Mg-Mangel, erst zehn Tage nach der Umstellung der Nährlösung auf Mangel. Bis zum Versuchsende (nach 4 Spritzungen) waren die jüngeren und jüngsten Blätter trotz der Blattapplikation chlorotisch und zeigten braune Punkte oder Flecken in den Interkostalfeldern. Bei den Blättern im mittleren Bereich war eine punkt- bzw. fleckenartige Wiederergrünung zu verzeichnen, wobei zwischen den Adern braune nekrotische Partien zu sehen waren. Die vor Beginn des Mangels bereits voll ausgebildeten unteren Blätter (Primärblätter und das erste Fiederblatt) waren und blieben dunkelgrün.



**volle NL
(Kontrolle)**

ohne Mikro¹⁾

Abb. 9: Anfangsstadium von Mikronährstoff-Mangelsymptomen bei Buschbohne 8 Tage nach Behandlungsbeginn. Alter der Pflanzen: 28 Tage.

¹⁾ Nährlösung ohne alle Mikronährstoffe.

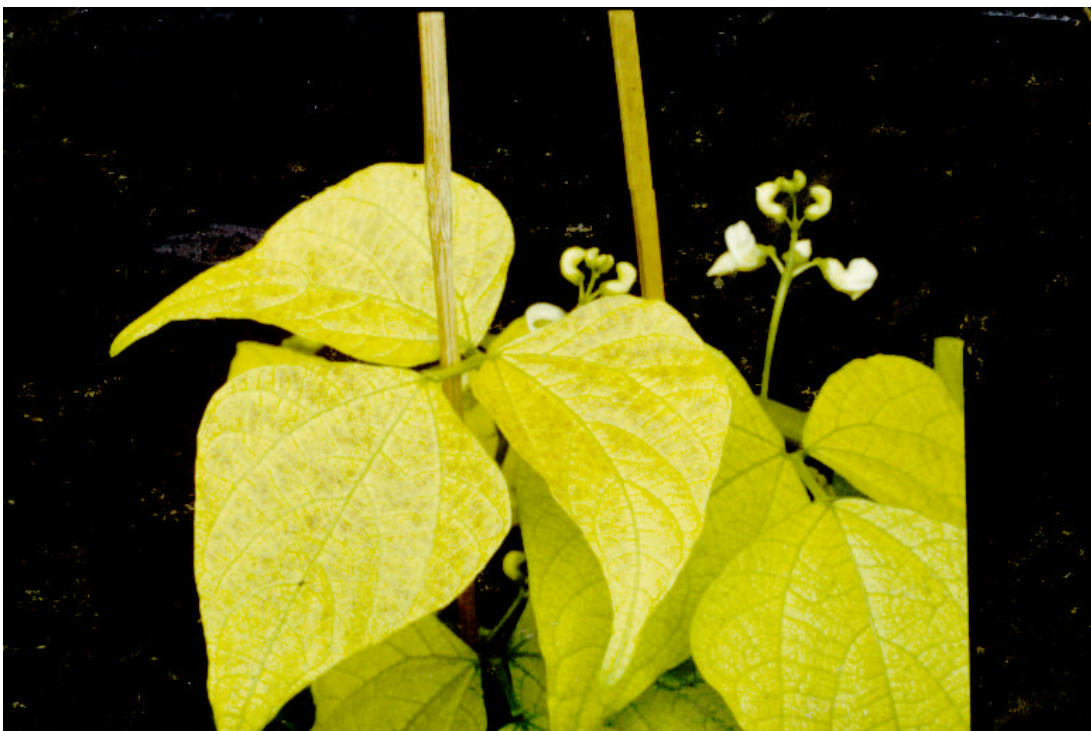


Abb. 10: Mikronährstoff-Mangelsymptome bei Buschbohne (Nahaufnahme).

Die wiederergrüntten Blätter behielten ihre Farbe nur für kurze Zeit. Abgesehen von einer leicht höheren Intensität der Grünfärbung der präventiv behandelten Pflanzen, war zwischen der kurativen und der präventiven Blattapplikation kein Unterschied (im Gegensatz zur Mg-Blattdüngung) festzustellen. Bis auf eine leichte Wiederergrünung der mittleren Blätter waren auch bei der präventiven Behandlung zum Teil braune punktförmige Nekrosen zwischen den Adern der oberen Blätter zu sehen. Die neu gebildeten Blätter an den Seitentrieben waren trotz der Blattdüngung chlorotisch. Offensichtlich konnte der Bedarf der Pflanze an Spurennährstoffen durch die präventive Blattdüngung nicht gedeckt werden. Allgemein gesehen waren die mit Blattdüngern präventiv oder kurativ behandelten Pflanzen jedoch in einem entschieden besseren Zustand als die unbehandelten, wie das aus der Abbildung 11 ersichtlich ist.

Zwischen den beiden Düngern war, ähnlich wie bei den Mg-Formulierungen, kein Unterschied festzustellen. Da hier mehrere Elemente im Mangelbereich waren, kann bei den vorliegenden Mischsymptomen visuell nicht mit Sicherheit erkannt werden, welchem der fehlenden Elemente die fortbestehenden Mangelsymptome trotz Blattdüngung zuzuschreiben waren. Als Hauptursache für die Chlorose wurde der Fe-Mangel und für die Interkostalnekrose vor allem der Mn-Mangel vermutet. Wechselwirkungen mit den anderen, ebenfalls im Mangel befindlichen Spurennährstoffen, lassen sich nicht ausschließen.



**volle NL
(Kontrolle)**

ohne Mikro¹⁾

**ohne Mikro
+ präv. BD²⁾**

**ohne Mikro
+ kur. BD³⁾**

Abb. 11: Ausprägung von Mikronährstoff-Mangelsymptomen bei Buschbohne und die Wirkung präventiver bzw. kurativer Blattdüngungsmaßnahmen.

¹⁾Nährlösung ohne alle Mikronährstoffe

²⁾7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

³⁾4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.
Alter der Pflanzen: 42 Tage.

5.1.2.2 Nährstoff- und Chlorophyllgehalt der Blätter

Beim Vergleich der Gehaltswerte der Blätter (unfraktioniert) zeigt sich bei vermindertem Mikronährstoffangebot eine Abnahme der Nährstoffkonzentration um fast 80% bei Fe, um 40% bei Mn und um 20% bei Zn und Cu. Der Chlorophyllgehalt ging um fast 60% zurück (Tab. 16). Eine Trennung der Blätter in eine Fraktion ohne Mangelsymptome (das entspricht der Fraktion der älteren Blätter) und eine Fraktion mit Mangelsymptomen (jüngere Blätter) ließ die Beziehungen zwischen dem Gehalt an den einzelnen Elementen im Blatt und dem Chlorophyllgehalt noch deutlicher erkennen als bei der Mischfraktion.

Tab. 16: Wirkung der Blattapplikation auf den Mikronährstoff- und Chlorophyllgehalt der Blätter (unfraktioniert) von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln [Mittelwert und (SD in Klammern), n = 6].

Behandlung	Nährstoffgehalt (µg/g TS)				Chlorophyllgehalt (mg/g TS)
	Fe	Mn	Zn	Cu	
volle NL (Kontrolle)	287 (103)	34,2 (2,4)	38,0 (1,2)	6,0 (0,9)	18,6 (0,9)
ohne Mikro¹⁾	63 (5)	21,8 (2,5)	29,2 (6,2)	4,9 (1,3)	7,9 (1,4)
ohne Mikro mit präv. BD²⁾	146 (14)	172,5 (17,6)	218,8 (11,3)	9,6 (3,2)	13,5 (1,1)
ohne Mikro mit kur. BD³⁾	131 (19)	150,0 (26,7)	202,5 (25,4)	9,3 (3,8)	12,9 (1,1)
GD (p£ 0,05)	66	25,5	69,8	2,8	1,9
GD (p£ 0,01)	89	34,3	93,9	3,7	2,5

¹⁾ Nährlösung ohne alle Mikronährstoffe

²⁾ 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

³⁾ 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.
Alter der Pflanzen: 42 Tage.

Während die Blattfraktion der jüngeren Blätter und die der älteren Blätter einen gleich hohen Mn-, Zn-, und Cu-Gehalt aufwiesen, betrugen die Fe-Konzentration und der Chlorophyllgehalt der Fraktion jüngerer Blätter jeweils 45% und 34% des Fe- und Chlorophyllgehaltes der Fraktion älterer Blätter. Bei einem Vergleich mit den Gehaltswerten der Kontrolle läßt dieser Befund den Schluß zu, daß der Rückgang der Chlorophyll-Konzentration der jüngeren Blätter als Folge des multiplen Spurennährstoff-Mangels in erster Linie auf eine unzureichende Fe-Versorgung der Pflanzen zurückzuführen war. Diese Schlußfolgerung wird durch die Wirkung der Blattapplikation auf den Mikronährstoff- und den Chlorophyllgehalt bestätigt. Im Vergleich zu der Fraktion jüngerer Blätter der Mangelvariante ohne Blattdüngung wurden der Mn- und Zn-Gehalt durch die Blattdüngung um den Faktor 7 bis 8 erhöht und der Cu-Gehalt verdoppelt.

Der Fe-Gehalt wurde durch die Behandlung der Mangelpflanzen mit dem Blattdünger um den Faktor 3 erhöht. In der gleichen Größenordnung stieg der Chlorophyllgehalt an. Im Vergleich zur Kontrolle wurde der Mn-, Zn- und Cu-Gehalt der jüngeren Blätter um den Faktor 2 bis 5 erhöht. Eine vergleichbar positive Wirkung der Blattapplikation konnte weder beim Fe- noch beim Chlorophyllgehalt festgestellt werden.

Unabhängig von der Zusammensetzung der Blattdünger und dem Applikationszeitpunkt betrug der Fe-Gehalt trotz der Blattapplikation bestenfalls 40% des Fe-Gehaltes der Kontrollpflanzen. Im Gegensatz dazu konnte der Chlorophyllgehalt der jüngeren Blätter dank der Blattdüngung auf 70% der Chlorophyll-Konzentration der Blätter vollversorgter Pflanzen angehoben werden.

5.1.2.3 *Vegetatives Wachstum*

Wie aus den Abbildungen 12 und 13 ersichtlich, blieben die Pflanzen unter multiplen Spurennährstoffmangel in der Wuchshöhe leicht zurück. Die Blattfläche sowie die Stengel- und die Wurzeltrockenmasse wurden dagegen signifikant bis hochsignifikant vermindert. Die Blattapplikation hatte keinen Einfluß auf die Wuchshöhe. Durch die Blattapplikation bildeten die präventiv behandelten Mangelpflanzen eine ebenso große Blattfläche aus wie die vollversorgten und die kurativ behandelten Pflanzen erreichten 90% der Blattfläche der Kontrolle. Unabhängig der Düngerzusammensetzung und vom Applikationszeitpunkt lagen die Stengel- und die Wurzeltrockenmasse um jeweils 30% und 20% unter denen der Vollversorgungsvariante.

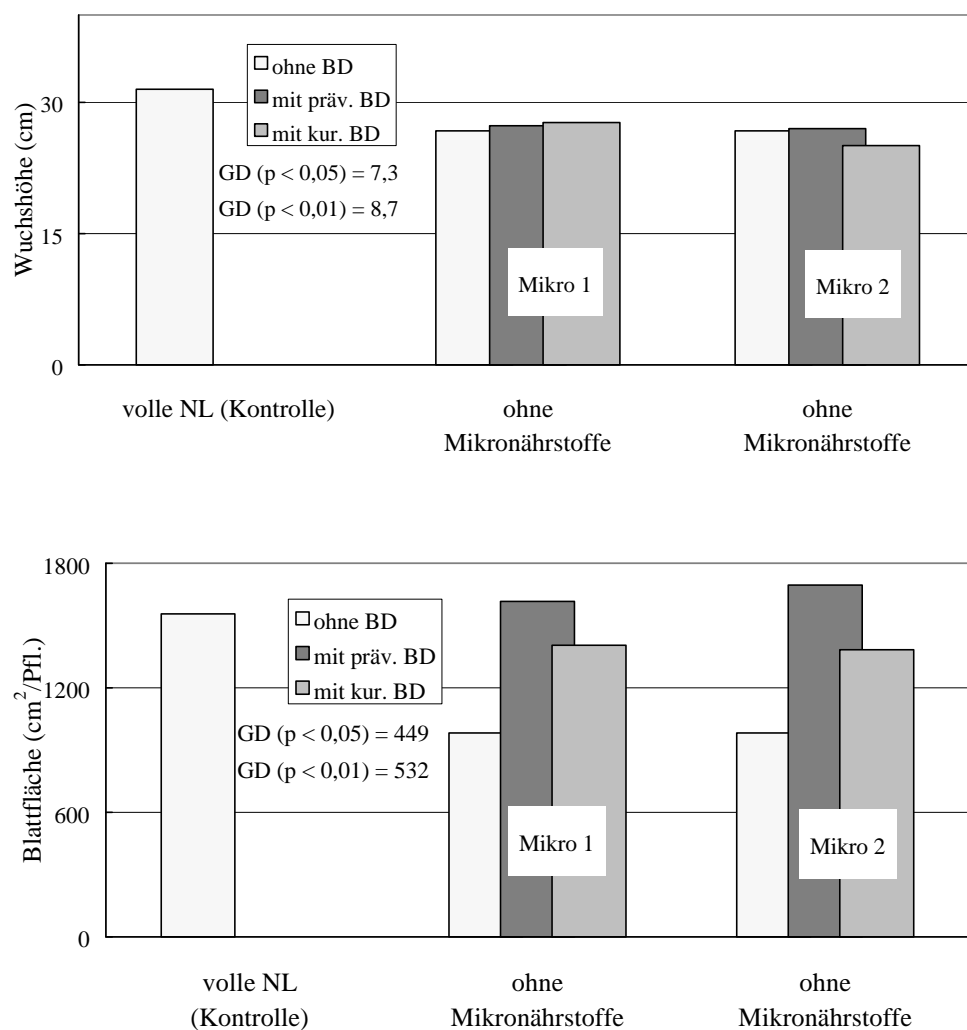


Abb. 12: Wirkung der Blattapplikation auf die Wuchshöhe und die Blattfläche von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.

präv. BD: 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

kur. BD: 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

Alter der Pflanzen: 42 Tage.

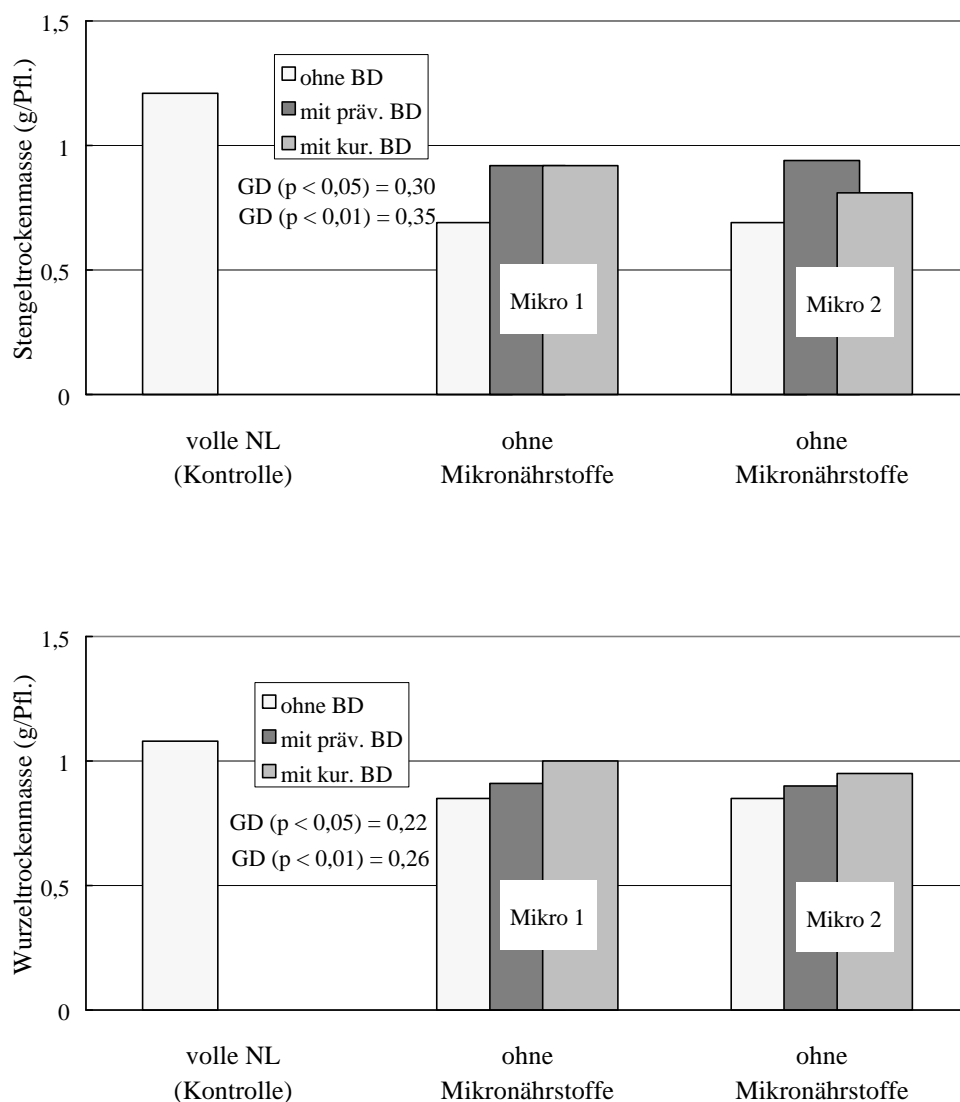


Abb. 13: Wirkung der Blattapplikation auf die Stengel- und Wurzeltrockenmasse von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.

prä v. BD: 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

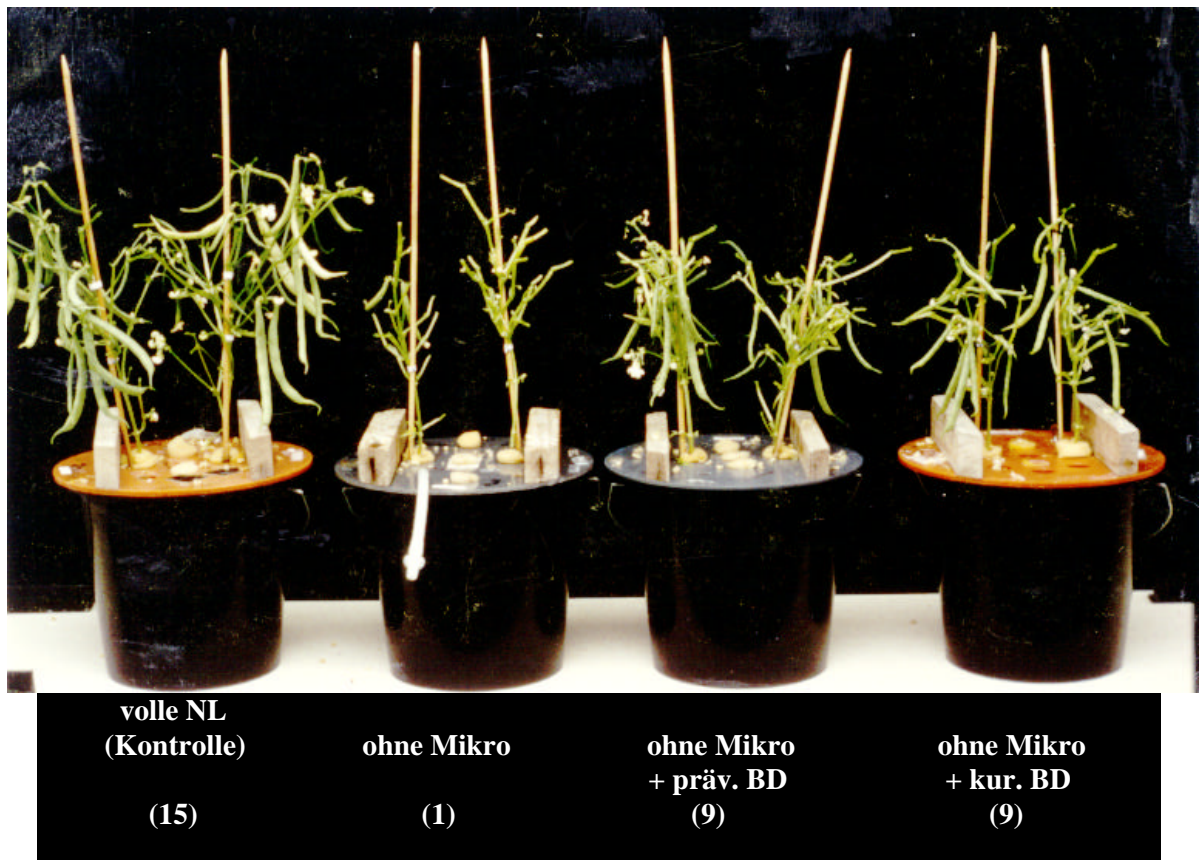
kur. BD: 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

Alter der Pflanzen: 42 Tage.

5.1.2.4 *Generative Entwicklung und Biomasseproduktion*

Ebenso wie das vegetative Wachstum wurden die meisten Parameter der Ertragsbildung durch den multiplen Spurennährstoffmangel stark negativ beeinflusst. Wie bei Mg-Mangel bildeten die Pflanzen unter Mikronährstoffmangel Blüten. Diese wurden jedoch frühzeitig ohne Hülsenbildung abgeworfen, so daß auch hier die Blattapplikation erst die Hülsenbildung ermöglichte (Abb. 14). Hinsichtlich der Anzahl der geernteten Hülsen lagen die Mangelpflanzen trotz der Blattdüngung hochsignifikant unter den vollversorgten Kontrollpflanzen. Im Gegensatz zum Mg-Mangel wurden beim Mikronährstoffmangel keine vom Applikationszeitpunkt abhängigen Wirksamkeitsunterschiede der Blattdünger festgestellt.

Das durchschnittliche Hülsengewicht wurde von den einzelnen Behandlungen nicht signifikant beeinflusst. Demzufolge war die Anzahl der Hülsen für die Höhe des Hülsenertrages ausschlaggebend. Im Mittel aller Varianten erreichten die Mangelpflanzen bestenfalls 50% des Hülsenertrages der Kontrollpflanzen. Im Vergleich zur Mangelvariante stieg die Gesamtbiomasse dank der Blattapplikation um 50% bis 80% an (Abb. 15). Signifikante Wirksamkeitsunterschiede zwischen der präventiven und der kurativen Blattapplikation wurden nicht festgestellt. Obwohl eine positive Wirkung der Blattapplikation auf das Wachstum festgestellt werden konnte, lag der gesamte TS-Ertrag um 30% hochsignifikant unter dem der vollversorgten Pflanzen.



(die Zahlen in Klammern stellen die mittlere Anzahl der Hülsen je Pflanze dar)

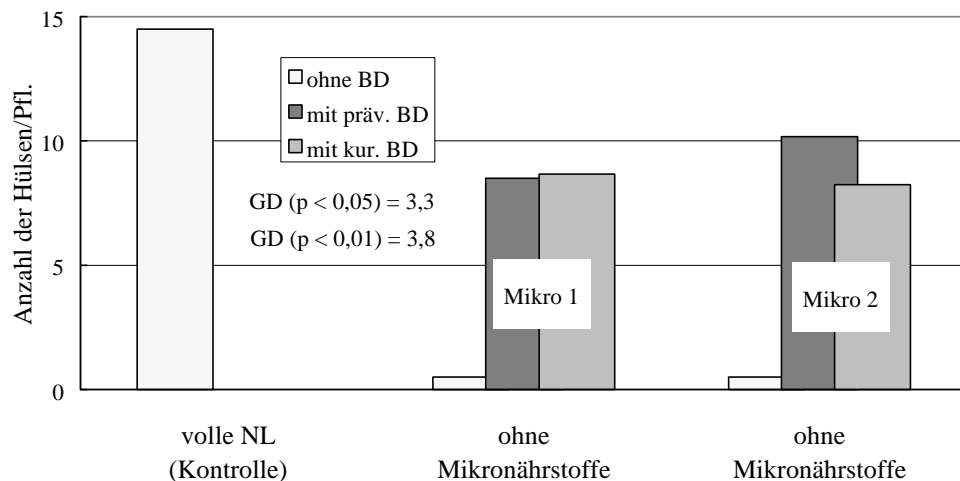


Abb. 14: Wirkung der Blattapplikation auf die Hülsenbildung (Anzahl der Hülsen je Pflanze) von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoffangebot über die Wurzeln.

präv. BD: 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

kur. BD: 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

Alter der Pflanzen: 42 Tage.

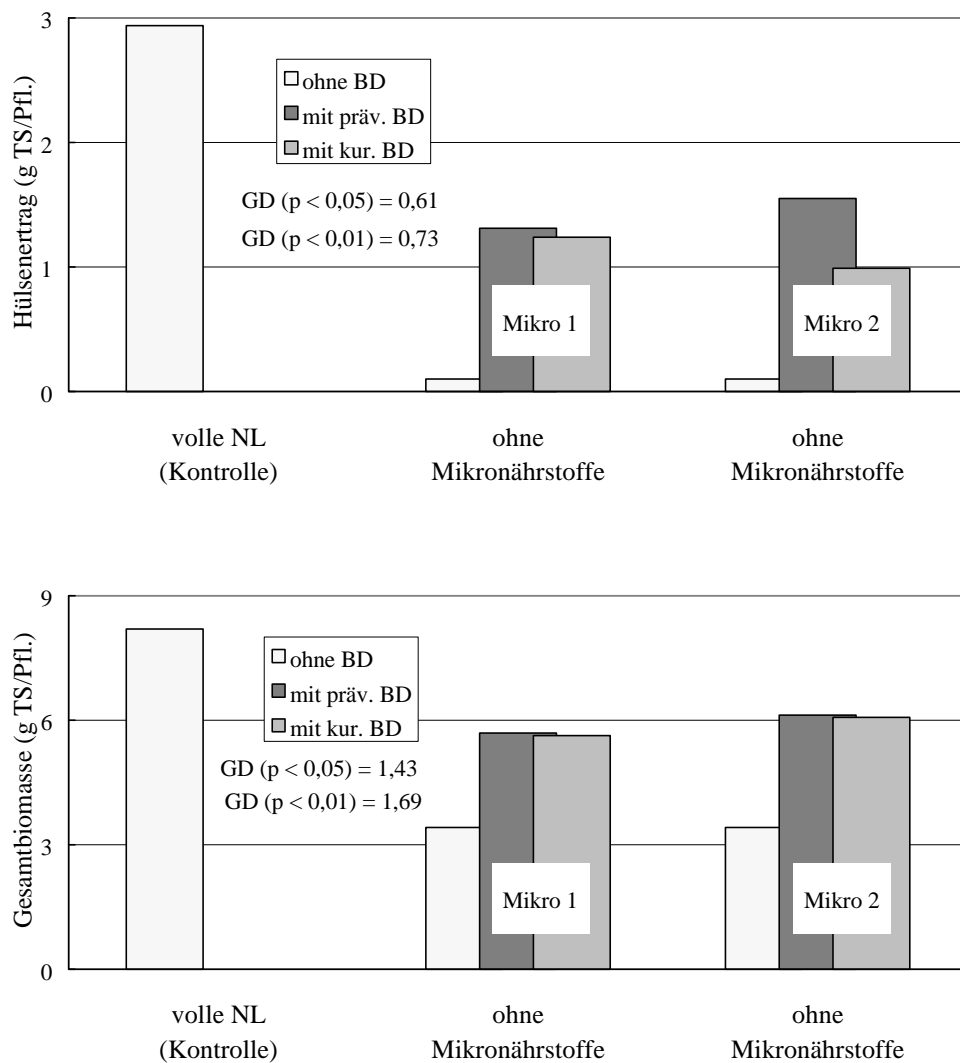


Abb. 15: Wirkung der Blattapplikation auf den Hülserertrag und die Gesamtbiomasse von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.

präv. BD: 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

kur. BD: 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

Alter der Pflanzen: 42 Tage.

Zusammenfassend wird festgehalten, daß die negativen Auswirkungen des multiplen Mikronährstoffmangels auf die Ertragskomponenten weder durch die präventive noch durch die kurative Blattapplikation ausgeglichen werden konnten. Unabhängig vom Applikationszeitpunkt ließen die verwendeten Blattdünger keine nennenswerten Unterschiede in ihrem Einfluß auf das Wachstum und die Ertragsbildung der Pflanzen erkennen.

5.1.2.5 *Nährstoffaufnahme und Nährstoffverteilung* ***Nährstoffgehalt der Blätter***

Mit Ausnahme von Ca, dessen Gehalt nicht beeinflußt wurde, führte das verminderte Spurennährstoff-Angebot im Nährmedium zu einer hochsignifikanten Zunahme der Konzentration der untersuchten Makronährstoffe im Blatt (Tab. 17). Besonders stark stieg die P-Konzentration der Mangelpflanzen an. Die Blattdüngung bewirkte einen bemerkenswerten Rückgang des infolge des Mikronährstoffmangels stark erhöhten P-, K- und Mg-Gehaltes. Der P- und der Mg-Gehalt blieben jedoch deutlich über dem der Kontrollpflanzen. Der Ca-Gehalt der dem Mikronährstoffmangel ausgesetzten Pflanzen wurde durch die Blattdüngung nicht wesentlich beeinflußt.

Wie im zweiten Abschnitt bereits beschrieben reagierten die Pflanzen auf das verminderte Spurennährstoff-Angebot in der Nährlösung mit einer Chlorose. Der ermittelte Fe-Gehalt von ca. 60 µg/g TS lag weit unter der zur Gewährleistung einer adäquaten Fe-Versorgung der erforderlichen der Fe-Konzentration im Blatt. Nach MENGEL (1984) weist das pflanzliche Gewebe bei absolutem Fe-Mangel einen Fe-Gehalt unter 100 µg/g TS auf, während bei physiologischem Fe-Mangel hohe Fe-Gehalte vorliegen können. Das Weglassen der Spurennährstoffe aus dem Nährmedium führte auch zu einem Rückgang des Mn-Gehaltes um 40%, während der Cu-Gehalt deutlich zunahm. Unter den gegebenen Versuchsbedingungen ließ sich ein vermindertes Mikronährstoffangebot über die Wurzel nicht im Zn-Gehalt der Blätter feststellen.

Durch die Blattapplikation wurde die Fe-Konzentration der Mangelpflanzen unabhängig vom Applikationstermin in der Mehrzahl der Varianten mehr als verdoppelt. Damit wurde jedoch nur die Hälfte des Fe-Gehaltes der Blätter vollversorgter Pflanzen erreicht. Der Mn- und Zn-Gehalt wurde sowohl durch die präventive als auch durch die kurative Mikronährstoff-Blattdüngung hochsignifikant gesteigert. Der aufgrund des Mangels erheblich gesteigerte Cu-Gehalt wurde durch die Blattapplikation deutlich gesenkt.

Im Vergleich zur Kontrolle wurde der K- und Ca-Gesamtgehalt⁴ der Blätter der Mangelvariante um 20 bis 30% vermindert, während der Mg-Gesamtgehalt nicht beeinflußt wurde. Die gesamte P-Menge der Blätter wurde um fast 50% erhöht. Diese infolge des Spurennährstoffmangels gesteigerte P-Menge wurde durch die präventive Blattapplikation fast auf das Niveau der Kontrolle gesenkt, durch die kurative Behandlung jedoch nicht. Der Ca-Gesamtgehalt der Blätter der Mangelpflanzen stieg durch die Blattapplikation auf 80% bis 95% der Kontrolle an. Während der K-Gesamtgehalt durch die Blattdüngung kaum beeinflußt wurde, nahm der Mg-Gesamtgehalt um 30% über die Kontrolle zu.

Durch die Mikronährstoff-Unterversorgung wurde der Gesamtgehalt an Fe der Blätter um fast 90% vermindert. Die insgesamt in den Blättern aufgenommene Fe-Menge wurde durch die Blattdüngung zwar fast verdreifacht, sie blieb jedoch deutlich unter 50% des Gesamtgehaltes an Fe der Kontrollvariante. Im Gegensatz hierzu hatte die Blattapplikation eine positive Wirkung auf den Mn-, Zn- und Cu-Gesamtgehalt der Blätter nicht nur der Mangelvariante, sondern auch der Kontrolle gegenüber. Dieser Befund wurde als Hinweis für die Aufnahme der Spurenelemente aus den Blattdüngern bewertet. Unabhängig vom Applikationszeitpunkt wiesen die verwendeten Blattdünger-Formulierungen sowohl hinsichtlich der Nährstoffkonzentrationen als auch hinsichtlich der Gesamtnährstoffgehalte keine Wirkungsunterschiede auf.

⁴ Unter Gesamtnährstoffgehalt ist die absolute Menge eines Nährstoffes in dem betreffenden Pflanzenteil (hier Blattfraktion) als Produkt aus Nährstoffkonzentration und Trockenmasse zu verstehen (vgl. S. 47).

Tab. 17: Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Blätter von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln [Mittelwert und SD (in Klammern), n = 10].

B e h a n d l u n g	Nährstoffgehalt (mg/g TS)				Nährstoffgehalt (µg/g TS)			
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)	4,6 (0,8)	33,0 (1,6)	47,6 (4,5)	3,1 (0,3)	257 (96)	42,5 (7,1)	29,3 (6,5)	5,8 (1,6)
ohne Mikro ¹⁾	10,8 (5,1)	43,0 (3,3)	49,0 (4,3)	5,0 (0,3)	57 (6)	25,8 (3,8)	30,4 (12,9)	8,3 (2,3)
ohne Mikro mit präv. BD ²⁾ Wuxal SD 91543	5,8 (1,2)	32,0 (2,2)	51,3 (8,4)	4,8 (0,6)	116 (21)	161,8 (26,0)	158,5 (57,5)	6,2 (0,6)
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	5,4 (1,6)	28,8 (1,4)	43,1 (5,1)	4,2 (0,5)	124 (36)	138,2 (26,2)	163,1 (64,7)	5,0 (1,6)
ohne Mikro mit kur. BD ³⁾ Wuxal SD 91543	8,0 (2,7)	34,4 (1,9)	49,1 (5,2)	4,6 (0,3)	96 (29)	101,9 (27,4)	120,1 (71,4)	8,8 (4,8)
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	8,0 (3,1)	32,0 (5,2)	44,8 (6,6)	4,0 (0,5)	135 (52)	121,4 (24,8)	149,4 (75,7)	9,5 (1,3)
GD (p£ 0,05) GD (p£ 0,01)	3,96 4,69	4,08 4,84	8,20 9,72	0,59 0,70	69 82	30,20 35,80	77,81 92,25	3,41 4,04
B e h a n d l u n g	Gesamtnährstoffgehalt (rel. Werte)							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle) abs. Werte ⁴⁾ rel. Werte	14,0 100	97,4 100	138,8 100	9,0 100	704 100	129,9 100	83,6 100	16,4 100
ohne Mikro ¹⁾	148	85	68	107	15	38	66	99
ohne Mikro mit präv. BD ²⁾ Wuxal SD 91543	107	84	94	135	42	316	477	95
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	111	82	84	128	47	288	514	81
ohne Mikro mit kur. BD ³⁾ Wuxal SD 91543	140	87	86	125	33	188	342	124
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	135	76	74	103	43	208	402	136

¹⁾ Nährlösung ohne alle Mikronährstoffe

²⁾ 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

³⁾ 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

⁴⁾ Absolute Werte für den Gesamtgehalt an Makronährstoffen (mg) bzw. für Mikronährstoffen (µg) der Blattfraktion. Zur Ermittlung der relativen Werte wurden die absoluten Werte der Kontrolle 100% gesetzt

Alter der Pflanzen: 42 Tage.

Nährstoffgehalt der Wurzeln

Während die Unterversorgung der Pflanzen mit Spurennährstoffen keinen Einfluß auf den P- und K-Gehalt der Wurzeln hatte, bewirkte sie eine signifikante Zunahme Ca- und Mg-Gehaltes (Tab. 18). Im Vergleich zur Kontrolle wurde der P-, K- und Ca-Gehalt der Wurzeln durch die Blattdüngung unabhängig von der Zusammensetzung der Blattdünger und dem Applikationszeitpunkt nicht wesentlich verändert. Der Mg-Gehalt dagegen, der infolge des Spurennährstoffmangels zugenommen hatte, wurde durch die Blattapplikation weiter gesteigert.

Im Vergleich zur Kontrolle ging der Fe-, Mn- und der Zn-Gehaltes der Wurzeln aufgrund des verminderten Angebotes an Spurenelementen um 80% bis 90% zurück. Der Cu-Gehalt dagegen nahm um nur 20% ab. Während im Vergleich zur Mangelvariante die Blattdüngung auf den Fe- und Mn-Gehalt der Wurzeln ohne Wirkung blieb, stieg der Zn-Gehalt aufgrund der Blattapplikation um den Faktor 2 bis 3 an. Trotz dieses positiven Effekts der Blattdüngung wiesen die Wurzeln der dem multiplen Spurennährstoffmangel ausgesetzten Pflanzen einen um 40% bis 50% niedrigeren Zn- und Cu-Gehalt auf als die der vollversorgten Pflanzen.

Der Gesamtgehalt an den untersuchten Makronährstoffen der Wurzeln wurde durch den Mikronährstoffmangel um nur 10% bis 20% vermindert. Die Gesamtmenge der Wurzeln an P, Ca und Mg wurde durch die Blattdüngung bis auf das Niveau der Kontrollpflanzen gesteigert. Sie hatte jedoch keinen Einfluß auf den K-Gesamtgehalt der Wurzeln. Im Vergleich zur Mikronährstoff-Mangelvariante blieb die Blattdüngung ohne Einfluß auf den Fe-Gesamtgehalt der Wurzeln, wohingegen der Gesamtgehalt an Mn durch die Blattapplikation um 20 bis 40%, der Zn-Gesamtgehalt sogar um den Faktor 2 bis 3 gesteigert wurde. Dieser Befund deutet auf die Aufnahme von Mn und Zn aus dem Blattdünger und ihre Verlagerung bis in die Wurzeln hin. Dennoch konnte ein Ausgleich des Mikronährstoffdefizits auf die Versorgung der Wurzeln durch die Blattapplikation nicht erzielt werden.

Tab. 18: Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Wurzeln von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln [Mittelwert und SD (in Klammern), n = 10].

B e h a n d l u n g	Nährstoffgehalt (mg/g TS)				Nährstoffgehalt (µg/g TS)			
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)	17,9 (1,0)	69,7 (3,9)	10,3 (0,7)	5,7 (0,2)	1588 (50)	75,4 (9,7)	180,7 (10,6)	16,6 (3,8)
ohne Mikro ¹⁾	17,1 (3,1)	73,2 (3,2)	12,0 (0,7)	6,7 (0,8)	126 (12)	11,9 (1,3)	39,3 (2,3)	14,5 (2,2)
ohne Mikro mit präv. BD ²⁾ Wuxal SD 91543	18,5 (0,8)	67,9 (4,5)	11,4 (1,2)	8,5 (0,1)	135 (5)	14,1 (0,6)	133,4 (12,2)	8,1 (0,5)
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	18,4 (0,3)	64,6 (7,4)	11,2 (1,6)	8,6 (0,3)	114 (9)	15,8 (1,2)	100,7 (3,0)	8,9 (0,4)
ohne Mikro mit kur. BD ³⁾ Wuxal SD 91543	17,6 (0,5)	66,6 (5,0)	10,8 (1,1)	7,2 (0,8)	132 (33)	15,3 (3,9)	84,7 (12,6)	10,3 (2,5)
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	18,4 (1,7)	68,8 (7,1)	10,5 (0,5)	7,0 (0,9)	139 (18)	17,1 (4,8)	82,7 (14,9)	10,6 (1,6)
GD (p£ 0,05)	2,67	7,58	1,49	0,85	37	6,69	14,65	3,07
GD (p£ 0,01)	3,17	8,99	1,76	1,01	44	7,93	17,37	3,64
B e h a n d l u n g	Gesamtnährstoffgehalt (rel. Werte)							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle) abs. Werte ⁴⁾ rel. Werte	16,9 100	75,4 100	11,1 100	6,1 100	1715 100	82,9 100	196,1 100	17,6 100
ohne Mikro ¹⁾	88	83	92	93	6	12	17	70
ohne Mikro mit präv. BD ²⁾ Wuxal SD 91543	100	82	94	126	7	15	62	42
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	98	77	92	126	6	17	46	46
ohne Mikro mit kur. BD ³⁾ Wuxal SD 91543	104	87	98	117	8	19	43	59
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	102	89	91	107	8	21	39	59

¹⁾ Nährlösung ohne alle Mikronährstoffe

²⁾ 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

³⁾ 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

⁴⁾ Absolute Werte für den Gesamtgehalt an Makronährstoffen (mg) bzw. für Mikronährstoffen (µg) der Wurzelfraktion. Zur Ermittlung der relativen Werte wurden die absoluten Werte der Kontrolle 100% gesetzt.

Alter der Pflanzen: 42 Tage.

Nährstoffgehalt der Hülsen

Wie aus der nachfolgenden Tabelle 19 ersichtlich, hatten die Hülsen der Mangelpflanzen, die eine Mikronährstoff-Blattapplikation erhalten haben, einen höheren Makronährstoffgehalt als die der Kontrollvariante. Das trifft besonders für Mg zu. Wirksamkeitsunterschiede, die der Zusammensetzung der Dünger oder dem Zeitpunkt ihrer Ausbringung zuzuschreiben waren, wurden nicht festgestellt. Die Hülsen der Mangelpflanzen wiesen einen ebenfalls höheren Mikronährstoffgehalt auf als die der mit Nährstoffen optimal versorgten. Ein Einfluß der Zusammensetzung der Dünger bzw. des Applikationszeitpunktes auf den Mikronährstoffgehalt der Früchte wurde nicht festgestellt.

Die Mangelpflanzen lagerten trotz der Blattapplikation 40% bis 60% weniger Makronährstoffe in die Hülsen ein als bei optimaler Versorgung. In ähnlicher Größenordnung liegt die Gesamtgehalt an Mikronährstoffen der Hülsen. Im Gegensatz zu den Makronährstoffen, bei denen im Gesamtgehalt zwischen der präventiven und kurativen Behandlung keine Unterschiede auftraten, wiesen die Mikronährstoffe bei der präventiven Blattapplikation höhere Gesamtmengen als bei der kurativen Behandlung auf. Aufgrund der Gesamtgehaltswerte ist die beobachtete starke Zunahme der Nährstoffkonzentration der Hülsen als Folge der durch den multiplen Spurennährstoffmangel verminderten Hülsenbildung (geringe Hülsentrockenmasse) zu betrachten.

Tab. 19: Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Hülsen von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln [Mittelwert und SD (in Klammern), n = 10].

B e h a n d l u n g	Nährstoffgehalt (mg/g TS)				Nährstoffgehalt (µg/g TS)			
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)	5,7 (0,2)	33,1 (1,8)	10,4 (1,1)	1,9 (0,1)	109 (13)	26,7 (4,5)	30,4 (2,6)	5,0 (0,7)
ohne Mikro ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
ohne Mikro mit präv. BD ²⁾ Wuxal SD 91543	6,1 (0,7)	36,1 (2,9)	12,1 (1,3)	2,4 (0,2)	74 (7)	38,8 (5,6)	43,1 (3,2)	6,8 (1,1)
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	6,3 (0,4)	32,3 (1,8)	9,4 (0,4)	2,3 (0,1)	80 (4)	37,8 (3,2)	40,8 (2,7)	6,8 (0,7)
ohne Mikro mit kur. BD ³⁾ Wuxal SD 91543	6,1 (0,3)	35,1 (2,1)	11,6 (2,6)	2,2 (0,1)	62 (15)	29,5 (2,7)	41,3 (7,1)	6,7 (0,4)
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	6,6 (0,4)	35,3 (1,2)	10,5 (1,2)	2,3 (0,1)	77 (26)	35,9 (3,4)	38,7 (5,9)	7,7 (0,9)
GD (p£ 0,05)	0,53	2,59	1,90	0,14	37	5,13	5,98	1,01
GD (p£ 0,01)	0,63	3,08	2,25	0,16	44	6,08	7,09	1,20
B e h a n d l u n g	Gesamtnährstoffgehalt (rel. Werte)							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle) abs. Werte ⁴⁾ rel. Werte	16,7 100	97,5 100	30,7 100	5,6 100	3175 100	77,3 100	88,7 100	14,5 100
ohne Mikro ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
ohne Mikro mit präv. BD ²⁾ Wuxal SD 91543	46	47	50	54	47	63	62	89
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	57	51	47	64	56	75	70	85
ohne Mikro mit kur. BD ³⁾ Wuxal SD 91543	45	45	47	48	57	47	56	82
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	39	36	33	41	44	46	41	66

¹⁾ Nährlösung ohne alle Mikronährstoffe. Aufgrund des Mangels wurden keine Hülsen gebildet.

²⁾ 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

³⁾ 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

⁴⁾ Absolute Werte für den Gesamtgehalt an Makronährstoffen (mg) bzw. für Mikronährstoffen (µg) der Hülsen. Zur Ermittlung der relativen Werte wurden die absoluten Werte der Kontrolle 100% gesetzt.

Alter der Pflanzen: 42 Tage.

Gesamtnährstoffaufnahme

Bezüglich der Gesamtnährstoffaufnahme gelang es selbst durch die präventive Blattapplikation nicht, die negativen Auswirkungen des multiplen Spurennährstoff-Mangels auf die Makronährstoffaufnahme auszugleichen. Mit Ausnahme von Mg wurde die Gesamtaufnahme der übrigen Massennährstoffe trotz der Blattdüngung um 20% bis 40% vermindert.

Die Gesamtaufnahme von Spurennährstoffen wurde durch unzureichendes Spurennährstoffangebot in der Nährlösung erwartungsgemäß hochsignifikant vermindert (Tab. 20). Aufgrund der Blattapplikation nahmen die Mangelpflanzen insgesamt 10% bis 60% mehr Mn und Zn als die der Kontrolle, ein Hinweis für eine effektive Mn- und Zn-Aufnahme aus den Blattdüngern über das Blatt. Hierbei war die präventiven Blattdüngung der kurativen deutlich überlegen. Unabhängig von der Zusammensetzung der Blattdünger und dem Applikationszeitpunkt übte die Blattapplikation keinen Einfluß auf die gesamte Cu-Aufnahme aus. Bei dem multiplen Spurennährstoffmangel ließ sich die Fe-Aufnahme durch die Blattapplikation am wenigsten positiv beeinflussen. Demzufolge kann angenommen werden, daß Fe jener Mikronährstoff war, der in Verbindung mit den übrigen Nährstoffen trotz der Blattdüngung den Minimumfaktor darstellte und somit auf Wachstum und Ertrag am stärksten limitierend wirkte.

Zusammenfassend wird festgehalten, daß bei den Mikronährstoff-Formulierungen keine Unterschiede in ihrer physiologischen Wirksamkeit festgestellt werden konnten, die auf die Zusammensetzung der Dünger zurückzuführen wären. Die von dem Zusatz von Harnstoff (Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff gegenüber Wuxal SD 91543) zu erwartende positive Wirkung auf das Wachstum und die Ertragsbildung oder die Nährstoffaufnahme, konnte nicht bestätigt werden.

Tab. 20: Wirkung der Blattapplikation auf die Gesamtnährstoffaufnahme (gesamte Menge an Makro- bzw. Mikronährstoffen je Pflanze) von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln

B e h a n d l u n g	Gesamte Nährstoffmenge je Pflanze (rel. Werte)							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle) abs. Werte ¹⁾ rel. Werte	53,4 100	316,9 100	208,0 100	22,4 100	2911 100	302,8 100	408,1 100	48,5 100
ohne Mikro ²⁾	74	55	61	76	10	22	25	59
ohne Mikro mit präv. BD ³⁾ Wuxal SD 91543	83	71	87	110	21	161	150	65
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	87	71	80	111	22	153	152	65
ohne Mikro mit kur. BD ⁴⁾ Wuxal SD 91543	92	72	80	102	25	104	111	81
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	88	65	70	88	27	113	117	83

¹⁾ Absolute Werte für die Gesamtmenge an Makronährstoffen (mg) bzw. Mikronährstoffen (µg) je Pflanze. Zur Ermittlung der relativen Werte wurden die absoluten Werte der Kontrolle 100% gesetzt.

²⁾ Nährlösung ohne alle Mikronährstoffe.

³⁾ 7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.

⁴⁾ 4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff.
Alter der Pflanzen: 42 Tage.

5.1.3 Elementspezifischer Mikronährstoffmangel

In den Versuchen mit multiplen Spurennährstoffmangel konnte selbst die präventive Blattapplikation ein ungestörtes Pflanzenwachstum nicht gewährleisten. Es wurde vermutet, daß die dem komplexen Mikronährstoffmangel ausgesetzten Pflanzen über die Blattdüngung nicht alle Nährstoffe in Mengen erhielten, wie das für optimales Wachstum erforderlich wäre. Tatsächlich ließ sich aus den chemischen Analysen des Pflanzenmaterials erkennen, daß die zu niedrige Fe-Konzentration in den Blättern der Mangelvariante als limitierender Faktor wirkte.

Um dieses Ergebnis zu überprüfen, wurden Versuche durchgeführt, in denen parallel zum multiplen Mikronährstoffmangel die Pflanzen einer elementspezifischen Unterversorgung mit Spurennährstoffen ausgesetzt wurden. Während bei den Mn- und Zn-Mangelvarianten kaum Mangelsymptome zu beobachten waren, wurden die Pflanzen unter Fe- bzw. Multielementmangel (gleichzeitigem Mangel an Fe, Mn, Zn) derart geschädigt, daß sie im Alter von 37 Tagen geerntet werden mußten. Damit wurde die Vermutung bestätigt, daß bei dem multiplen Spurennährstoffmangel trotz der Blattapplikation Fe den begrenzenden Faktor darstellte. Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse dieser Versuche beschrieben.

5.1.3.1 *Ausbildung von Mangelsymptomen*

Bereits zwei Tage nach Umstellung der Nährlösung auf Mangel zeigten die Pflanzen der Variante ohne Eisen typische Fe-Mangelsymptome in Form einer gleichmäßigen Aufhellung jüngerer und jüngster Blätter, wobei die Blattadern noch grün waren. Die Pflanzen der Mn- bzw. Zn-Mangelvariante wiesen noch kein Zeichen von Mangel auf. Überraschenderweise waren die Pflanzen, denen gleichzeitig Fe, Mn und Zn fehlten, zunächst in einem verhältnismäßig besseren Zustand als jene, denen nur Fe entzogen wurde (Abb. 16).



Abb. 16: Ausprägung von Mangelsymptomen bei Buschbohne unter Mikronährstoffmangel 7 Tage nach Behandlungsbeginn.

¹⁾Nährlösung ohne Fe, Mn und Zn

²⁾Nährlösung ohne Fe

³⁾Nährlösung ohne Mn

⁴⁾Nährlösung ohne Zn

Alter der Pflanzen: 23 Tage.

Im weiteren Wachstumsverlauf verstärkten sich die Mangelsymptome. So traten bei den Pflanzen der Variante ohne Fe, Mn und Zn zusätzlich zur Chlorose jüngerer Blätter braune Punkte im Interkostalfeld (Interkostalpunktnekrosen) auf, die auf den Mn-Mangel hindeuteten.

Sowohl bei Fe-Mangel als auch bei multiplem Spurennährstoffmangel waren die oberen Blätter 19 Tage nach Behandlungsbeginn vertrocknet. Das machte fünf Tage vor dem geplanten Versuchsende eine Zwischenernte erforderlich, bevor die Blätter abfielen. Zwecks Vergleichsmöglichkeit wurde von der Kontrollvariante eine Pflanze mitgeerntet.

Die Blattapplikation bewirkte zwar eine deutlich erkennbare Wiederergrünung der Blätter, die Grünfärbung der chlorotischen Blätter hielt jedoch nicht lange an und die neu gebildeten Blätter, vor allem an den Seitentrieben, waren chlorotisch.

Als Mn-Mangelsymptome zeigten einige Pflanzen der Variante ohne Mn erst 15 Tage nach der Umstellung der Nährlösung eine leichte punktartige Chlorose im Interkostalbereich jüngerer Blätter. Die Pflanzen der Zn-Mangelvariante dagegen wiesen bis zu diesem Zeitpunkt kein Zeichen von Mangel auf. Erst 23 Tage nach der Umstellung der Nährlösung auf Zn-Mangel, wurde eine leichte Aufhellung im Interkostalbereich der jüngsten Blätter beobachtet, welche als Zeichen von Zn-Mangel gedeutet werden könnte. Die Interkostalchlorose der oberen Blätter bei den Mn-Mangelpflanzen war auch deutlicher geworden, da auch die jüngsten Blätter (vor allem die an den Seitentrieben neu gebildeten) chlorotisch waren. Die mit dem Blattdünger behandelten Mn- bzw. Zn-Mangelpflanzen wiesen keinerlei Zeichen von Mangel auf und waren von den Kontrollpflanzen visuell nicht zu unterscheiden.

5.1.3.2 Nährstoff- und Chlorophyllgehalt

Wie die nachfolgende Tabelle 21 zeigt, wurde der Mikronährstoff- und Chlorophyllgehalt der Blattfraktion durch die Unterversorgung der Pflanzen mit den einzelnen Spurennährstoffen unterschiedlich beeinflusst. Im Vergleich zur Kontrolle ging der Chlorophyllgehalt bei Fe-Mangel bzw. bei komplexer Mikronährstoff-Unterversorgung trotz der Blattapplikation auf 70% bzw. 40% zurück. Auf die Unterversorgung der Pflanzen mit Mn bzw. Zn reagierten die Pflanzen mit einer signifikanten bis hochsignifikanten Verminderung des Mn- bzw. Zn-Gehaltes um jeweils 20% und 50% im Vergleich zur Vollversorgung. In beiden Varianten wurde der Chlorophyllgehalt jedoch nur unwesentlich (5 bis 10%) vermindert. Die Behandlung der dem Mn- bzw. Zn-Mangel ausgesetzten Pflanzen mit dem Multielementblattdünger bewirkte eine hochsignifikante Zunahme des Mn- und Zn-Gehalts um den Faktor 2 bzw. 2,5. Diese Zunahme der Nährstoffkonzentration aufgrund der Blattapplikation blieb ohne Einfluß auf den Chlorophyllgehalt.

Tab. 21: Wirkung der Blattapplikation auf den Mikronährstoff- und Chlorophyllgehalt der Blätter von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln [Mittelwert und SD (in Klammern), n = 6].

Behandlung	Nährstoffgehalt ($\mu\text{g/g TS}$)				Chlorophyll gehalt (mg/g TS)
	Fe	Mn	Zn	Cu	
volle NL (Kontrolle)	250 (4)	26,2 (1,1)	20,2 (0,6)	6,2 (0,3)	18,1 (2,1)
ohne Fe ¹⁾	-	-	-	-	-
ohne Fe mit präv. BD ²⁾	85 (3)	162, (2,9)	95,8 (0,1)	21,5 (0,6)	12,9 (1,8)
ohne Fe, Mn, Zn ¹⁾	-	-	-	-	-
ohne Fe, Mn, Zn mit präv. BD ²⁾	125 (6)	93,0 (3,0)	91,9 (3,3)	26,7 (1,4)	7,1 (0,9)
ohne Fe, Mn, Zn ¹⁾	-	-	-	-	-
ohne Fe, Mn, Zn mit präv. BD ²⁾	125 (6)	93,0 (3,0)	91,9 (3,3)	26,7 (1,4)	7,1 (0,9)
ohne Mn	300 (2)	21,8 (0,3)	28,8 (0,4)	8,8 (0,3)	16,5 (0,5)
ohne Mn mit präv. BD ²⁾	337 (11)	54,0 (3,3)	46,6 (0,4)	6,3 (0,6)	17,1 (0,6)
ohne Zn	375 (17)	35,0 (1,0)	11,0 (1,0)	8,7 (0,3)	17,3 (0,2)
ohne Zn mit präv. BD ²⁾	238 (3)	68,3 (1,0)	46,8 (0,4)	9,8 (0,3)	15,6 (1,0)
GD (p£ 0,05)	14	3,3	2,1	1,0	0,6
GD (p£ 0,01)	19	4,6	2,9	1,4	0,9

¹⁾ Die Angaben beziehen sich auf die zweite Ernte. Bei der ersten Ernte konnte die Chlorophyllbestimmung aufgrund unzureichender Trockensubstanz der Blattfraktion nicht vorgenommen werden.

²⁾ 9 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543.

5.1.3.3 *Vegetatives Wachstum*

Die verschiedenen Parameter des vegetativen Wachstums der Pflanzen wurden durch den Mangel an den einzelnen Spurennährstoffen unterschiedlich beeinflusst (Tab. 22). So beeinträchtigte der Fe-Mangel bzw. die gleichzeitige Unterversorgung der Pflanzen mit Fe, Mn und Zn das Wachstum derart, daß die Pflanzen drei Wochen nach Beginn der Behandlung das Wachstum völlig einstellten. Bevor die Pflanzen abstarben, wurde eine Zwischenernte der Pflanzen nach einer Versuchsdauer von 37 Tagen erforderlich. Von allen Parametern des vegetativen Wachstums wurde das Blattwachstum (gemessen am TS-Ertrag) vom depressiven Effekt des Fe- bzw. des multiplen Mikronährstoffmangels am stärksten betroffen.

Bis zum ersten Erntezeitpunkt war kein negativer Effekt des Mn- bzw. Zn-Mangels auf das vegetative Wachstum der Pflanzen zu verzeichnen. Die Daten des zweiten Erntepunktes ließen jedoch Wachstumsdepressionen als Folge der Mn-Unterversorgung der Pflanzen erkennen. Im Vergleich zur Kontrolle waren die Mangelpflanzen in der Höhe deutlich kleiner und bildeten einen deutlich geringeren TS-Ertrag der verschiedenen Pflanzenteile aus. Auffallend hoch war die Wurzeltrockenmasse der unter Zn-Mangel angezogenen Pflanzen. Als positive Wirkung der Blattapplikation kann festgehalten werden, daß sie den Mangelpflanzen das Wachstum über den 37. Tag nach Aufgang hinaus ermöglichte. Alle Wachstumsparameter wurden bei Fe-Mangel bzw. beim Fehlen Fe, Mn und Zn im Nährmedium durch die Blattdüngung generell positiv beeinflusst. Die bei dem Mn-Mangel eingetretenen Wachstumsdepressionen wurden durch die Blattapplikation weitgehend ausgeglichen. Auch die infolge der Zn-Unterversorgung relativ stark gestiegene Wurzelmasse der Zn-Mangelpflanzen ging aufgrund der Blattdüngung deutlich zurück.

Tab. 22: Wirkung der Blattapplikation auf einige ausgewählte Parameter des vegetativen Wachstums von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoffangebot über die Wurzeln [Mittelwert \pm SD, n = 8].

Behandlung	Parameter des vegetativen Wachstums							
	Wuchshöhe (cm)		Blatttrockenmasse (g/Pfl.)		Stengeltrockenmasse (g/Pfl.)		Wurzeltrockenmasse (g/Pfl.)	
	A ³⁾	B	A	B	A	B	A	B
volle NL (Kontrolle)	23,0	24,3 \pm 2,3	2,0	2,8 \pm 0,8	0,8	1,2 \pm 0,1	0,7	1,3 \pm 0,4
ohne Fe	16,0	-	0,4	-	0,4	-	0,5	-
ohne Fe mit präv. BD ¹⁾	19,0	21,0 \pm 1,2	1,1	1,8 \pm 0,2	0,5	0,7 \pm 0,1	0,7	1,0 \pm 0,3
ohne Fe, Mn, Zn	15,0	-	0,4	-	0,3	-	0,5	-
ohne Fe, Mn, Zn mit präv. BD ¹⁾	20,0	18,3 \pm 1,5	1,1	1,8 \pm 0,3	0,4	0,7 \pm 0,1	0,7	1,0 \pm 0,3
ohne Mn	21,0	20,0 \pm 1,7	2,4	2,3 \pm 0,7	0,9	0,8 \pm 0,3	0,9	0,8 \pm 0,2
ohne Mn mit präv. BD ¹⁾	23,0	23,3 \pm 1,5	2,5	2,6 \pm 0,1	1,1	1,1 \pm 0,2	1,0	1,0 \pm 0,1
ohne Zn	21,0	22,7 \pm 3,2	2,7	2,7 \pm 0,3	1,1	1,1 \pm 0,2	1,5	1,6 \pm 0,3
ohne Zn mit präv. BD ¹⁾	22,0	22,7 \pm 1,5	2,1	2,6 \pm 0,1	0,8	1,1 \pm 0,1	0,7	1,0 \pm 0,1
GD ³⁾ (p£ 0,05)	-	8,4	-	1,1	-	0,6	-	0,6
GD (p£ 0,01)	-	10,2	-	1,34	-	0,7	-	0,8

¹⁾ Die Mangelpflanzen wurden mit dem Blattdünger Wuxal 91543 präventiv behandelt.

²⁾ Die Grenzdifferenzen wurden zum ersten Erntezeitpunkt nicht ermittelt, da es sich hierbei um Einzelwerte handelte.

³⁾ A: Die Ernte erfolgte im Alter von 37 Tagen nach 6 Blattapplikationen.

B: Die Ernte erfolgte im Alter von 42 Tagen nach 8 Blattapplikationen.

5.1.3.4 *Generative Entwicklung und Biomasseproduktion*

Sowohl durch den Fe-Mangel allein als auch durch das gleichzeitige Fehlen von Fe, Mn und Zn im Nährmedium wurde die Hülsenbildung völlig verhindert (Tab. 23). Der Hülsenansatz wurde erst durch die Blattapplikation ermöglicht. Es wurden jedoch nur 40% bis 60% weniger Hülsen als unter optimaler Mikronährstoffversorgung angesetzt. Bei beiden Varianten ging der Hülsenenertrag trotz der Blattdüngung um 70% bis 80% und die Gesamtbiomasse um 50% zurück.

Die reproduktive Phase wurde durch den Zn-Mangel und insbesondere durch die Mn-Unterversorgung der Pflanzen stärker negativ beeinflusst als das vegetative Wachstum. Die Hülsenanzahl wurde durch den Zn-Mangel um 20%, durch den Mn-Mangel sogar um 50% vermindert. Darüber hinaus waren die Hülsen der dem Nährstoffmangel ausgesetzten Pflanzen wesentlich dünner als die der vollversorgten. Durch den Mn- und Zn-Mangel wurde der Hülsenenertrag um jeweils 60% und 50% vermindert. Mit Hilfe der Blattapplikation konnten die unter Mn- und Zn-Mangel angezogenen Pflanzen 75% des Hülsenenertrages erreichen, der von den Pflanzen unter optimaler Nährstoffversorgung produziert wurde.

Bezüglich der Gesamtbiomasseproduktion rief der Mn- bzw. der Zn-Mangel bis zur ersten Ernte keine Ertragsminderung hervor. Im weiteren Entwicklungsverlauf machte sich der Mangel deutlicher bemerkbar. Die Mn- bzw. Zn-Mangelpflanzen produzierten insgesamt 40% bzw. 20% weniger Trockenmasse als die vollversorgten Pflanzen. Durch die Blattapplikation konnte sowohl bei Mn- als auch bei Zn-Mangel etwa 80% der gesamten Biomasse vollversorgter Pflanzen der Kontrollvariante erreicht werden.

Tab. 23: Wirkung der Blattapplikation auf einige ausgewählten Parameter der Ertragsbildung von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoffangebot über die Wurzeln [Mittelwert \pm SD, n = 8].

Behandlung	Parameter der Ertragsbildung							
	Anzahl der Hülsen je Pflanze		durchschnittl. Hülsentrockenmasse (mg/Hülse)		Hülsenertrag (g/Pflanze)		Gesamtbiomasse (g/Pflanze)	
	A ⁴⁾	B	A	B	A	B	A	B
volle NL (Kontrolle)	11,0	11,7 \pm 0,6	5	25,8 \pm 2,6	0,50	3,0 \pm 0,2	3,9	8,3 \pm 0,2
ohne Fe ¹⁾	-	-	-	-	-	-	1,1	-
ohne Fe mit präv. BD ²⁾	3,0	5,0 \pm 0,5	3	12,4 \pm 4,2	0,10	0,7 \pm 0,2	2,2	4,2 \pm 0,1
ohne Fe, Mn, Zn ¹⁾	-	-	-	-	-	-	1,2	-
ohne Fe, Mn, Zn mit präv. BD ²⁾	2,0	7,0 \pm 1,0	5	7,6 \pm 2,4	0,10	0,5 \pm 0,3	2,3	3,9 \pm 0,4
ohne Mn	6,0	6,0 \pm 1,0	5	18,0 \pm 4,0	0,30	1,1 \pm 0,2	4,6	4,9 \pm 0,8
ohne Mn mit präv. BD ²⁾	7,0	11,0 \pm 2,6	4	20,9 \pm 5,3	0,26	2,2 \pm 0,2	4,8	6,7 \pm 0,2
ohne Zn	5,0	9,3 \pm 0,6	7	14,9 \pm 4,2	0,34	1,4 \pm 0,3	5,6	6,6 \pm 0,4
ohne Zn mit präv. BD ²⁾	7,0	10,0 \pm 1,0	5	22,6 \pm 2,6	0,27	2,2 \pm 2,3	3,9	6,9 \pm 0,3
GD ³⁾ (p£ 0,05)	-	5,9	-	13,8	-	0,9	-	1,6
GD (p£ 0,01)	-	7,1	-	16,6	-	1,0	-	1,9

¹⁾ Bei Fe- und multiplem Mikronährstoffmangel wurden keine Hülsen gebildet.

²⁾ Die Mangelpflanzen wurden mit dem Blattdünger Wuxal 91543 präventiv behandelt.

³⁾ Die Grenzdifferenzen wurden zum ersten Erntezeitpunkt nicht ermittelt, da es sich hierbei um Einzelwerte handelte.

⁴⁾ A: Die Ernte erfolgte im Alter von 37 Tagen nach 6 Blattapplikationen.

B: Die Ernte erfolgte im Alter von 42 Tagen nach 8 Blattapplikationen.

Zur Verdeutlichung des Einflusses der Behandlungen in der kritischen Phase der Ertragsbildung wurde der Zuwachs der Trockenmasse der einzelnen Fraktionen von der ersten zur zweiten Ernte errechnet. Es muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß es sich bei den Daten aus der ersten Ernte um Einzelwerte handelte. Damit ist die durch den Vergleich mit den Daten aus dem zweiten Erntezeitpunkt gemachte Aussage mit einer gewissen Unsicherheit behaftet.

Bei den vegetativen Teilen der Pflanze war eine Zunahme der Trockenmasse von etwa 130% (Variationsbreite = 0% bis 180%) zu verzeichnen. Bei den Hülsen lag der Zuwachs bei 600% (Variationsbreite 360% bis 850%). Der prozentuale Anteil der Hülsentrockenmasse stieg von 7% (Variationsbreite 3% bis 13%) bei der ersten Ernte auf 25% (Variationsbreite 13% bis 36%) bei der zweiten Ernte sprunghaft an. Die Pflanzen der Mangelvarianten wiesen eine niedrigere relative Zunahme des TS-Ertrages als die der Kontrolle bzw. der Vergleichsvarianten mit der Blattapplikation auf. Das trifft insbesondere für die Varianten ohne Fe bzw. ohne Fe, Mn und Zn zu, bei denen die Blattapplikation den Hülsenansatz ermöglichte, gilt aber auch für die Varianten ohne Mn bzw. ohne Zn, bei denen damit die Ausbildung von Mangelsymptomen sowie ein signifikanter Ertragsrückgang verhindert werden konnte.

Da sich bei den Varianten ohne Fe bzw. ohne Fe, Mn und Zn die Ausprägung der Mangelsymptome trotz der Blattapplikation einerseits verstärkte, andererseits aber der Anstieg der Hülsentrockenmasse im Vergleich zu den anderen Behandlungen, deutlich niedriger ausfiel, wird vermutet, daß trotz der durchgeführten Blattapplikation dem hohen Nährstoffbedarf der Pflanzen während der Phase der Hülsenentwicklung (die Hülsen als ein immer stärker werdender Sink) nicht gerecht werden konnte. Wachstum und Ertragsbildung wurden also durch die Unterversorgung der Pflanzen mit den einzelnen Mikronährstoffen unterschiedlich stark vermindert. Hierbei stellte sich Eisen als jenes Element heraus, welches das Wachstum und die Ertragsbildung am stärksten beeinträchtigte. Eine ausreichende Fe-Versorgung der Pflanzen konnte unter den vorliegenden Versuchsbedingungen durch die Blattdüngungsmaßnahmen nicht gewährleistet werden.

5.1.3.5 Nährstoffaufnahme und Nährstoffverteilung

Nährstoffgehalt der Blätter

Zunächst wird festgestellt, daß der deutliche TS-Zuwachs der Blätter zwischen der ersten und der zweiten Ernte (vgl. Tab. 22), von einigen Ausnahmen abgesehen, ohne wesentlichen Einfluß auf die Nährstoffkonzentration der Blätter blieb. Es muß aber auch hier darauf hingewiesen werden, daß es sich bei den Daten aus der ersten Ernte um Einzelwerte handelte. Damit ist die durch den Vergleich mit den Daten aus der zweiten Ernte gemachte Aussage mit einer gewissen Unsicherheit behaftet.

Im Vergleich zur Vollversorgung führte der Fe-Mangel bei der ersten Ernte zu einer erheblichen Zunahme des Gehaltes an Makronährstoffen der Blätter (Tab. 24). In ähnlicher Weise wirkte sich die gleichzeitige Unterversorgung der Pflanzen mit den Mikronährstoffen Fe, Mn und Zn auf den Makronährstoffgehalt der Blätter aus. In beiden Fällen wurde die Nährstoffkonzentration durch die Blattapplikation z. T. auf die Gehaltswerte der Kontrolle wieder gesenkt.

Wie bereits erwähnt stellten die Pflanzen sowohl bei Fe-Mangel als auch bei der Unterversorgung der Pflanzen mit den Spurenelementen Fe, Mn und Zn drei Wochen nach Behandlungsbeginn im Alter von 37 Tagen das Wachstum ein. Der bei beiden Mangelvarianten ermittelte Fe-Gehalt von 40 bis 60 µg/g TS war nach Angaben von MENGEL (1984) für ein ungestörtes Wachstum der Pflanzen unzureichend. Im Vergleich zur Kontrolle stieg der Mn-, Zn- und Cu-Gehalt der Blätter aufgrund des Fe-Mangels um den Faktor 2 bis 4 an. Im Vergleich zu der Mangelvariante wurde der Fe-Gehalt durch die Blattapplikation um 70% gesteigert. Trotz dieser beachtlichen Zunahme wiesen die Blätter der Mangelpflanzen einen um ca. 40% bis 50% niedrigeren Fe-Gehalt auf als die der Vollversorgungsvariante. Die Blattapplikation bewirkte eine weitere Erhöhung der Mn-, Zn- und Cu-Gehalte, die im Vergleich zur Kontrolle bereits erheblich zugenommen hatten.

Tab. 24: Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Blätter von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoffangebot über die Wurzeln [Mittelwert und SD (in Klammern), n = 8].

Behandlung	Nährstoffgehalt (mg/g TS)								Nährstoffgehalt (µg/g TS)							
	P		K		Ca		Mg		Fe		Mn		Zn		Cu	
	A ³⁾	B	A	B	A	B	A	B	A ³⁾	B	A	B	A	B	A	B
volle NL (Kontrolle)	6,0 -	5,8 (0,1)	33,0 -	33,1 (0,3)	40,0 -	37,5 (1,3)	3,6 -	4,1 (0,1)	161 -	250 (4)	42,0 -	26,2 (1,2)	27,6 -	20,4 (0,6)	9,0 -	6,2 (0,3)
ohne Fe	7,7	-	72,0	-	44,8	-	4,8	-	61	-	125,5	-	60,6	-	33,0	-
ohne Fe mit präv. BD ¹⁾	5,7 -	5,3 (0,1)	42,0 -	40,3 (0,6)	27,1 -	27,9 (0,3)	3,5 -	3,6 (0,1)	105 -	86 (3)	89,5 -	163,3 (2,9)	87,7 -	95,8 (0,1)	25,5 -	21,5 (0,6)
ohne Fe, Mn, Zn	11,1	-	74,0	-	35,4	-	4,8	-	40	-	5,0	-	42,7	-	41,0	-
ohne Fe, Mn, Zn mit präv. BD ¹⁾	5,5 -	5,6 (0,1)	39,0 -	40,2 (0,3)	40,7 -	36,7 (0,3)	4,4 -	4,1 (0,1)	123 -	125 (6)	178,5 -	93,0 (3,0)	115,2 -	91,9 (3,3)	34,5 -	26,7 (1,4)
ohne Mn	6,7	6,5	29,5	35,6	28,7	38,0	3,4	3,7	248	300	12,5	21,8	30,1	28,8	9,0	8,8
	-	(0,1)	-	(1,2)	-	(1,0)	-	(0,1)	-	(2)	-	(0,3)	-	(0,4)	-	(0,3)
ohne Mn mit präv. BD ¹⁾	5,5 -	5,2 (0,2)	25,0 -	33,3 (0,8)	30,1 -	35,6 (0,4)	3,0 -	3,2 (0,1)	520 -	337 (11)	39,5 -	54,0 (3,3)	85,9 -	46,6 (0,4)	10,0 -	6,3 (0,6)
ohne Zn	9,5	9,5	25,5	36,0	38,4	37,0	3,9	4,1	413	375	32,0	35,0	16,1	11,0	10,0	8,7
	-	(0,2)	-	(1,0)	-	(1,2)	-	(0,1)	-	(3)	-	(1,0)	-	(1,0)	-	(0,3)
ohne Zn mit präv. BD ¹⁾	6,8 -	6,5 (0,1)	30,0 -	36,3 (0,6)	32,3 -	36,6 (0,9)	3,3 -	3,4 (0,1)	235 -	238 (17)	73,5 -	68,3 (1,0)	43,9 -	46,8 (0,4)	12,0 -	9,8 (0,3)
GD ²⁾ (p£ 0,05)	-	0,5	-	2,7	-	3,3	-	0,2	-	30	-	7,4	-	4,6	-	2,3
GD (p£ 0,01)	-	0,6	-	3,2	-	4,0	-	0,3	-	36	-	8,9	-	5,5	-	2,7

¹⁾ Die Pflanzen wurden mit dem Blattdünger Wuxal SD 91543 präventiv behandelt.

²⁾ Die Grenzdifferenzen wurden zum ersten Erntezeitpunkt nicht ermittelt, da es sich hierbei um Einzelwerte handelte.

³⁾ A: Die Ernte erfolgte im Alter von 37 Tagen nach 6 Blattapplikationen.

B: Die Ernte erfolgte im Alter von 42 Tagen nach 8 Blattapplikationen.

Aufgrund des verminderten Mikronährstoffangebotes in der Nährlösung fiel die Mn-Konzentration der Blätter auf 5 µg/g TS ab. Durch die Blattapplikation wurde der Mn-Gehalt der Blätter auf fast 180 µg/g TS, das 5fache des Mn-Gehaltes der Blätter der vollversorgten Pflanzen angehoben. Im Gegensatz zu Fe und Mn ließ spiegelte sich das verminderte Mikronährstoffangebot über die Wurzeln nicht in der Zn-Konzentration der Blätter wider. Durch die Blattapplikation nahm diese Zn-Konzentration der Blätter um den Faktor 4 im Vergleich zur Kontrolle zu.

In Abwesenheit von Fe, Mn und Zn in der Nährlösung stieg der Cu-Gehalt auf das 4-fache des Cu-Gehaltes der Kontrolle an. Die Blattapplikation bewirkte eine deutliche Senkung des Cu-Gehaltes der Blätter. Dieser blieb jedoch weit über dem der Kontrolle. Offensichtlich begünstigte die gleichzeitige Abwesenheit von Fe, Mn und Zn im Nährmedium die Cu-Aufnahme durch die Wurzeln und dessen Verlagerung in die Blätter. Der Mn-Mangel bewirkte eine leichte Zunahme des P- und K-Gehaltes der Blätter. Im Gegensatz dazu fiel der Mg-Gehalt leicht ab, während der Ca-Gehalt unbeeinflusst blieb. Durch die Blattapplikation wurde der aufgrund des Mn-Mangels erhöhte Makronährstoffgehalt wieder gesenkt.

Erwartungsgemäß hatte das Fehlen von Mn in der Nährlösung eine Abnahme des Mn-Gehaltes der Blätter zur Folge. Der Mn-Gehalt der Mangelpflanzen schwankte zwischen 10 µg/g TS und 20 µg/g TS und lag damit deutlich unter dem der vollversorgten Pflanzen. Die Unterversorgung der Pflanzen mit Mn wurde von einer beachtlichen Zunahme des Fe-, Zn- und Cu-Gehaltes der Blätter begleitet. Im Vergleich zur Mangelvariante wurde der Mn-Gehalt der Blätter durch die Blattapplikation um den Faktor 2 bis 3 erhöht (zum erstem Erntezeitpunkt) und lag zum zweiten Erntezeitpunkt deutlich über das Niveau der Kontrolle. Der als Folge der Mn-Unterversorgung erhöhte Fe- und Zn-Gehalt wurde durch die Blattdüngung weiter gesteigert. Der Cu-Gehalt, der aufgrund des Mn-Mangels erheblich zugenommen hatte, wurde durch die Blattapplikation auf das Niveau der Kontrolle gesenkt.

Während der Ca- und Mg-Gehalt der Blätter durch die Unterversorgung der Pflanzen mit Zn kaum beeinflusst wurde, nahm die K- und insbesondere die P- Konzentration signifikant zu. So lag der P-Gehalt der Zn-Mangelpflanzen um 60% über dem der Kontrollpflanzen.

Während die in Verbindung mit dem Zn-Mangel erheblich gestiegene Mg-Konzentration durch die Blattapplikation hochsignifikant zurückging, übte diese keinen nennenswerten Einfluß auf den K- und Ca-Gehalt im Blatt aus. Die bei Zn-Mangel festgestellte starke Zunahme der P-Konzentration der Blätter wurde durch die Blattapplikation zwar deutlich gesenkt, sie blieb jedoch signifikant über dem P-Gehalt der Kontrollpflanzen.

Das verminderte Zn-Angebot in der Nährlösung hatte eine Abnahme der Zn-Konzentration im Blatt um fast 50% zur Folge. Obwohl die dem Zn-Mangel ausgesetzten Pflanzen bis zum Versuchsende kaum Mangelsymptome zeigten, deutet der ermittelte Zn-Gehalt von 10 µg/g TS bis 16 µg/g TS auf einen latenten Zn-Mangel hin. Diese Zn-Konzentration wurde durch die Blattapplikation um den Faktor 3 bis 4 erhöht. Während der aufgrund des Zn-Mangels übersteigerte Fe-Gehalt durch die Blattapplikation auf das Niveau der Kontrollpflanzen gesenkt wurde, stieg der infolge des Zn-Mangels erhöhte Mn- und Cu-Gehalt aufgrund der Blattdüngung weiter an.

Sowohl der Fe-Mangel als auch die Multielement-Unterversorgung der Pflanzen führte zu einer deutlichen Verminderung des Gesamtgehaltes an Makronährstoffen der Blätter (Tab. 25). So betrugen die P-, K-, Ca- und Mg-Gesamtgehalte der Blätter zum ersten Erntezeitpunkt bei Fe-Mangel jeweils 25%, 40%, 20%, und 25% der Gehaltswerte der Kontrolle. In ähnlicher Größenordnung lagen die Gesamtgehalte an Makronährstoffen, wenn die Pflanzen der multiplen Mikronährstoff-Unterversorgung ausgesetzt waren. Bei beiden Behandlungsvarianten führte die Blattapplikation zu einer beachtlichen Zunahme der Gesamtmenge an den untersuchten Makronährstoffen. Ein Ausgleich wurde jedoch nicht erzielt. Es wird angenommen, daß die erhebliche Zunahme der Makronährstoff-Konzentration der Blätter auf das stark verminderte Wachstum der Mangelpflanzen zurückzuführen ist.

Tab. 25: Wirkung der Blattapplikation auf den Gesamtnährstoffgehalt der Blattfraktion von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoffangebot über die Wurzeln [Mittelwert und SD (in Klammern), n = 8].

Behandlung	Gesamtnährstoffgehalt (rel. Werte)															
	P		K		Ca		Mg		Fe		Mn		Zn		Cu	
	A ³⁾	B	A	B	A	B	A	B	A ³⁾	B	A	B	A	B	A	B
Volle NL (Kontrolle)																
abs. Werte	316	710	82,3	74,3	54,1	58,0	17,6	17,5	31	710	82,3	74,3	54,1	58,0	17,6	17,5
rel. Werte	100	100	100	100	100	100	100	100	6	100	100	100	100	100	100	100
ohne Fe	7	-	58	-	43	-	71	-	7	-	58	-	43	-	71	-
ohne Fe mit präv. BD¹⁾	37	23	120	416	178	312	159	230	37	23	120	416	178	312	159	230
ohne Fe, Mn, Zn	6	-	3	-	35	-	102	-	6	-	3	-	35	-	102	-
ohne Fe, Mn, Zn mit präv. BD¹⁾	44	44	243	24	238	58	219	140	44	44	243	24	238	58	219	140
ohne Mn	191	96	37	67	136	113	124	114	19	96	37	67	136	113	124	114
ohne Mn mit präv. BD¹⁾	415	125	101	191	400	211	143	95	41	125	101	191	400	211	143	95
ohne Zn	353	140	105	126	80	50	153	132	35	140	105	126	80	50	153	132
ohne Zn mit präv. BD¹⁾	155	86	186	237	169	208	141	144	15	86	186	237	169	208	141	144

¹⁾ Absolute Werte für Gesamtgehalt an Makronährstoffen (mg) bzw. Mikronährstoffen (µg) der Blattfraktion. Zur Ermittlung der relativen Werte wurden die absoluten Werte der Kontrolle 100% gesetzt.

²⁾ Die Pflanzen wurden mit dem Blattdünger Wuxal SD 91543 präventiv behandelt.

³⁾ A: Die Ernte erfolgte im Alter von 37 Tagen nach 6 Blattapplikationen.

B: Die Ernte erfolgte im Alter von 42 Tagen nach 8 Blattapplikationen.

Erwartungsgemäß wurde der Fe-Gesamtgehalt der Blätter, ähnlich der Fe-Konzentration, durch den Fe-Mangel bzw. die Unterversorgung der Pflanzen mit Fe, Mn und Zn extrem vermindert. Sowohl bei Fe-Mangel als auch bei komplexem Mikronährstoffmangel bewirkte die Blattapplikation eine bemerkenswerte Zunahme des Fe- Gesamtgehaltes der Blätter. Dieser erreichte jedoch nur 40% zum ersten Erntezeitpunkt bzw. 25% zum zweiten Erntezeitpunkt des Gesamteisengehaltes der Kontrolle. Im Gegensatz dazu stieg die Gesamtmenge an Mn, Zn und Cu um den Faktor 2 bis 4 an.

Die Unterversorgung der Pflanzen mit Mangan führte zu einer Abnahme des Gesamtgehaltes an Makronährstoffen der Blätter um 10% bis 25%. Ein Ausgleich durch die Blattapplikation konnte, mit Ausnahme von K, nicht erreicht werden. Das verminderte Mn-Angebot im Nährmedium hatte keinen signifikanten Einfluß auf den Fe-, Zn- und Cu- Gesamtgehalt der Blätter. Durch die Blattapplikation nahmen die Gehaltswerte der untersuchten Mikronährstoffe mit Ausnahme von Cu beim zweiten Erntezeitpunkt signifikant zu.

Der Zn-Mangel hatte insbesondere bei der ersten Ernte eine erhebliche Zunahme der Gesamtmenge an Makronährstoffen in den Blättern zur Folge. Das trifft vor allem für P zu, dessen Gesamtgehalt im Vergleich zur Kontrolle verdoppelt (erster Erntezeitpunkt) bzw. um 50% (zweiter Erntepunkt) gesteigert wurde. Da sich die Gesamtgehaltswerte für die anderen Makronährstoffe bei der zweiten Ernte kaum von denen der Kontrolle unterschieden, scheint die Zn-Abwesenheit im Nährmedium die P-Aufnahme begünstigt zu haben. Die Blattapplikation bei Zn-Mangel blieb ohne Wirkung auf den Gesamtgehalt an K und Ca, verminderte aber den Gesamtgehalt an Mg der Blätter um 15% bis 25% im Vergleich zur Vollversorgungsvariante. Besonders hervorzuheben ist die Wirkung der Blattdüngung auf die stark erhöhte P-Aufnahme. Der durch den Zn-Mangel stark gesteigerte P-Gesamtgehalt der Blätter wurde dank der Blattapplikation wieder auf das Niveau der Kontrolle gesenkt.

Im Vergleich zur Kontrolle wiesen die Blätter der Mangelpflanzen einen deutlich niedrigeren Zn-Gesamtgehalt auf. Die Gesamtmenge der übrigen Mikronährstoffe wurde durch den Zn-Mangel um über 20% bis 40% erhöht. Durch die Blattapplikation wurde der Zn-Gesamtgehalt um den Faktor 2 bis 4 gesteigert.

Gleichzeitig bewirkte sie eine weitere Zunahme des Mn-Gesamtgehaltes der Blätter, der bereits durch das verminderte Zn-Angebot im Nährmedium erheblich zugenommen hatte. Der Fe-Gesamtgehalt der Blätter, der als Folge des Zn-Mangels erheblich gesteigert wurde, ging aufgrund der Blattapplikation hochsignifikant zurück. Der Cu-Gesamtgehalt wurde durch den Zn-Mangel mäßig erhöht und blieb von der Blattdüngung unbeeinflusst.

Nährstoffgehalt der Wurzeln

Wie aus der Tabelle 26 hervorgeht, wurde der P- und Ca-Gehalt der Wurzeln aus der ersten Ernte infolge des Fe-Mangels um 20% bis 30% vermindert. Der K- und Mg-Gehalt dagegen wurde kaum verändert. In Verbindung mit dem multiplen Mikronährstoffmangel ging der Makronährstoffgehalt um 20 bis 50% zurück im Vergleich zur Vollversorgung. Sowohl beim Fe-Mangel als auch bei multipler Mikronährstoff-Unterversorgung der Pflanzen konnte die Makronährstoff-Konzentration der Wurzeln in der Mehrzahl der Varianten durch die Blattapplikation auf das Gehaltsniveau der Kontrolle angehoben werden.

Im Vergleich zur Kontrolle hatte die Unterversorgung der Pflanzen mit Fe eine Abnahme der Fe-Konzentration in den Wurzeln um 90% zur Folge. Auch die Mn-Konzentration ging aufgrund des Fe-Mangels um ca. 50% zurück. Der Zn- und insbesondere der Cu-Gehalt wurde dagegen erheblich gesteigert. Bei gleichzeitiger Unterversorgung der Pflanzen mit Fe, Mn und Zn wurde deren Konzentration in den Wurzeln besonders stark vermindert. So lag die Mn-Konzentration sogar unterhalb der Bestimmungsgrenze für die angewandte Analysenmethode.

Sowohl bei Fe- als auch bei multiplem Mikronährstoffmangel hatte die Blattapplikation keinen Einfluß auf die Fe-Konzentration der Wurzeln. Bei der zweiten Ernte stieg die Mn-Konzentration aufgrund der Blattdüngung derart an, daß Mn in der Wurzelfraktion nachgewiesen werden konnte. Das deutet auf eine Mn-Translokation aus den Blättern in die Wurzeln hin.

Tab. 26: Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Wurzeln von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoffangebot über die Wurzeln [Mittelwert und SD (in Klammern), n = 8].

Behandlung	Nährstoffgehalt (mg/g TS)								Nährstoffgehalt (µg/g TS)							
	P		K		Ca		Mg		Fe		Mn		Zn		Cu	
	A ³⁾	B	A	B	A	B	A	B	A ³⁾	B	A	B	A	B	A	B
volle NL (Kontrolle)	17,3 -	18,5 (0,4)	66,5 -	75,3 (1,0)	7,9 -	11,8 (0,8)	6,8 -	5,1 (0,1)	107 5	566 (32)	78,5 -	54,7 (2,0)	100,9 -	71,9 (1,5)	14,5 -	11,8 (1,2)
ohne Fe	14,2	-	63,4	-	6,1	-	6,9	-	100	-	38,5	-	531,3	-	295,1	-
ohne Fe mit präv. BD ¹⁾	16,5 -	16,9 (0,4)	70,0 -	73,2 (1,4)	9,2 -	10,5 (0,3)	8,6 -	9,5 (0,1)	65 -	48 (1)	25,5 -	16,5 (1,2)	284,0 -	354,3 (16,2)	122,0 -	64,2 (6,4)
ohne Fe, Mn, Zn	8,4	-	52,9	-	5,6	-	4,5	-	60	-	nb.	-	42,7	-	193,2	-
ohne Fe, Mn, Zn mit präv. BD ¹⁾	15,9 -	15,5 (0,6)	67,0 -	79,5 (2,6)	7,7 -	10,7 (0,7)	7,3 -	6,8 (0,1)	60 -	50 (3)	nb. -	7,3 (0,3)	115,2 -	61,3 (2,3)	95,5 -	48,3 (5,2)
ohne Mn	18,0	17,8 (0,1)	71,5	77,5 (2,3)	8,9	9,9 (0,9)	3,5	4,3 (0,1)	633	1015 (45)	12,5	20,2 (0,3)	64,5	86,3 (4,5)	10,0	11,3 (1,3)
ohne Mn mit präv. BD ¹⁾	18,5 -	17,4 (1,3)	65,9 -	74,8 (0,8)	5,7	10,6 (0,2)	3,6	5,2 (0,4)	682	656 (20)	12,0	56,3 (5,8)	96,2	112,8 (10,4)	9,0	12,2 (2,6)
ohne Zn	7,3	11,0 (1,4)	66,4	74,8 (1,4)	8,1	10,3 (0,8)	2,8	5,6 (0,6)	739	799 (69)	40,4	36,7 (5,9)	20,6	18,7 (3,5)	7,5	12,3 (0,3)
ohne Zn mit präv. BD ¹⁾	15,9 -	16,4 (0,7)	71,5 -	75,8 (1,5)	7,4	9,0 (0,2)	5,8	3,9 (0,4)	975	797 (62)	73,5	99,7 (9,0)	43,9	66,2 (7,6)	13,0	11,5 (0,5)
GD ²⁾ (p£ 0,05)	-	3,1	-	6,6	-	2,1	-	1,1	-	140	-	15,8	-	26,4	-	12,9
GD (p£ 0,01)	-	3,7	-	7,9	-	2,6	-	1,4	-	168	-	19,0	-	31,7	-	15,6

¹⁾ Die Pflanzen wurden mit dem Blattdünger Wuxal SD 91543 präventiv behandelt.

nb.: Der Mn-Gehalt der Wurzeln lag unterhalb der Bestimmungsgrenze für die angewandte Analysemethode.

²⁾ Die Grenzdifferenzen zum ersten Erntezeitpunkt wurden nicht ermittelt, da es sich hierbei um Einzelwerte handelte.

³⁾ A: Die Ernte erfolgte im Alter von 37 Tagen nach 6 Blattapplikationen.

B: Die Ernte erfolgte im Alter von 42 Tagen nach 8 Blattapplikationen.

Die Zn-Konzentration der Wurzeln, die aufgrund des multiplen Mikronährstoffmangels um 50% vermindert wurde, konnte durch die Blattapplikation auf 70 bis 85% des Zn-Gehaltes der Kontrolle angehoben werden. Damit verbunden war eine beachtliche Abnahme der Konzentration von Cu, dessen Aufnahme durch die Abwesenheit von Fe, Mn und Zn in der Nährlösung besonders gefördert wurde.

Die Unterversorgung der Pflanzen mit Mangan übte keinen wesentlichen Einfluß auf den P-, K- und Ca-Gehalt der Wurzeln aus. Der Mg-Gehalt der Wurzeln hingegen ging infolge des Mn-Mangels um 20% bis 50% zurück. Während der P-, K- und Ca-Gehalt der Wurzeln durch die Blattdüngung unbeeinflusst blieb, konnte der Mg-Gehalt auf das Niveau der Kontrolle angehoben werden. Im Vergleich zur Kontrolle führte das unzureichende Mn-Angebot im Nährmedium zu einer Verminderung des Mn-Gehaltes der Wurzeln um 60% bis 80%. Durch die Blattapplikation konnte der verminderte Mn-Gehalt der Wurzeln deutlich, bei der zweiten Ernte sogar bis auf das Gehaltsniveau der Kontrollpflanzen angehoben werden. Die aufgrund des Mn-Mangels erhöhte Fe-Konzentration der Wurzeln wurde durch die Blattapplikation verringert. Der Zn-Gehalt dagegen wurde erhöht ($p \leq 0,01$). Die hier beobachteten Veränderungen der Nährstoffkonzentrationen in den Wurzeln in Verbindung mit der Blattapplikation ließen eine Verlagerung der Spurenelemente aus dem Blatt in die Wurzeln vermuten.

Unabhängig vom Erntezeitpunkt führte der Zn-Mangel zu einer Verminderung des P-Gehaltes der Wurzeln um 50% bis 60%, während der K-, Ca- und der Mg-Gehalt unwesentlich verändert wurde. Durch die Blattapplikation wurde der aufgrund des Zn-Mangels verminderte P-Gehalt der Wurzeln auf 90% des P-Gehaltes der Kontrolle angehoben. Der K-Gehalt blieb unverändert. Im Vergleich zur Kontrolle wurde die Ca- und Mg-Konzentration durch die Blattapplikation bei Zn-Mangel deutlich vermindert.

Die Unterversorgung der Pflanzen mit Zn hatte eine hochsignifikante Verminderung des Zn-Gehaltes in den Wurzeln zur Folge und rief einen deutlichen Anstieg des Fe-Gehaltes der Wurzeln hervor ($p \leq 0,01$). Im Gegensatz dazu war eine deutliche Abnahme des Mn-Gehaltes der Wurzeln als Folge des Zn-Mangels zu verzeichnen.

Die Blattapplikation führte zu einer Anhebung des Zn-Gehaltes von etwa 35% auf 90% des Gehaltes der Kontrolle. Dieser Befund setzte eine Zn-Aufnahme aus dem Blattdünger und dessen Translokation in die Wurzeln voraus. Der in Verbindung mit dem Zn-Mangel erhöhte Fe-Gehalt wurde durch die Blattdüngung nicht beeinflusst. Der bei Zn-Mangel stark verminderte Mn-Gehalt wurde durch die Blattdüngung dagegen bis zu 80% über die Kontrolle gesteigert. Auch dieser Befund veranlaßt zu der Annahme, daß Mn aus dem Blattdünger aufgenommen und bis in die Wurzeln verlagert wurde.

Sowohl bei Fe-Mangel als auch bei gleichzeitiger Unterversorgung der Pflanzen mit Fe, Mn und Zn wurde der Gesamtgehalt an Makronährstoffen der Wurzeln um 50% bis 70% vermindert (Tab. 27). Bis zum ersten Erntezeitpunkt konnte zwar die Blattapplikation dieser Beeinträchtigung der Makronährstoffaufnahme in die Wurzeln entgegenwirken, im weiteren Wachstumsverlauf erwies sich die Blattdüngung jedoch als unzureichend, um Auswirkungen des Fe-Mangels auszugleichen. Die Gesamtgehalte für die untersuchten Mikronährstoffe bestätigen die Ergebnisse der Konzentrationsangaben. So wurde der Fe-Gesamtgehalt der Wurzelfraktion trotz der Blattapplikation um mehr als 90% vermindert, wenn Fe bzw. Fe, Mn und Zn im Nährmedium fehlten. In beiden Fällen scheint eine Translokation von Fe aus dem Blattdünger in die Wurzeln nicht stattgefunden zu haben.

Trotz der Blattapplikation ging der Mn-Gesamtgehalt der Wurzeln bei Fe-Mangel bzw. multiplem Mikronährstoffmangel erheblich zurück. Der Zn-Gesamtgehalt hingegen stieg bei Fe-Mangel um den Faktor 3 an. Das verminderte Mn-Angebot im Nährmedium hatte eine Abnahme der Gesamtgehalt an Makronährstoffen der Wurzeln aus der zweiten Ernte um 50% bis 60% zur Folge. Im Vergleich zu der Mn-Mangelvariante wurde die Gesamtmenge an Makronährstoffen der Wurzeln durch die Blattapplikation signifikant um 15 bis fast 30% erhöht, ein Ausgleich gegenüber der Kontrolle konnte jedoch nicht erreicht werden. Das verminderte Mn-Angebot im Nährmedium spiegelte sich in einer hochsignifikanten Abnahme der Mn-Gesamtmenge der Wurzeln wider. Mit Ausnahme von Eisen nahm der Gesamtgehalt an Mn, Zn, und Cu bei Mn-Mangel deutlich ab. Die Blattapplikation bewirkte eine Zunahme des Mn-Gesamtgehaltes von 20% auf 80% des Gesamtgehaltswertes der Kontrolle.

Tab. 27: Wirkung der Blattapplikation auf den Gesamtnährstoffgehalt (relative Werte) der Wurzelfraktion von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoffangebot über die Wurzeln [Mittelwert und SD (in Klammern), n = 8].

Behandlung	Gesamtnährstoffgehalt (rel. Werte)															
	P		K		Ca		Mg		Fe		Mn		Zn		Cu	
	A ³⁾	B	A	B	A	B	A	B	A ³⁾	B	A	B	A	B	A	B
Volle NL (Kontrolle)	12,1	23,4	46,5	95,1	5,5	14,9	3,2	6,5	752	71	54,9	69,0	70,6	90,7	10,1	15,0
abs. Werte	100	100	100	100	10	100	100	100	100	7	100	100	100	100	100	100
rel. Werte																
ohne Fe	54	-	60	-	51	-	67	-	6	-	32	-	346	-	1339	-
ohne Fe mit präv. BD¹⁾	92	70	102	74	11	67	123	142	6	6	32	22	274	376	818	411
ohne Fe, Mn, Zn	31	-	51	-	46	-	43	-	4	-	nb.	-	31	-	857	-
ohne Fe, Mn, Zn mit präv. BD¹⁾	93	44	102	74	99	68	109	69	6	15	nb.	12	74	34	669	321
ohne Mn	136	60	141	64	14	53	68	52	77	11	21	23	84	75	91	59
ohne Mn mit präv. BD¹⁾	145	74	135	78	99	71	72	80	86	91	21	81	129	125	84	82
ohne Zn	90	73	213	124	21	109	88	134	146	17	110	82	43	32	110	129
ohne Zn mit präv. BD¹⁾	97	71	114	82	98	62	90	61	96	11	105	148	48	75	95	79

¹⁾ Absolute Werte für den Gesamtgehalt an Makronährstoffen (mg) bzw. Mikronährstoffen (µg) der Wurzelfraktion. Zur Ermittlung der relativen Werte wurden die absoluten Werte der Kontrolle 100% gesetzt.

²⁾ Die Pflanzen wurden mit dem Blattdünger Wuxal SD 91543 präventiv behandelt.

nb.: Der Mn-Gehalt der Wurzeln lag unterhalb der Nachweisgrenze für die angewandte Analyseverfahren.

³⁾ A: Die Ernte erfolgte im Alter von 37 Tagen nach 6 Blattapplikationen.

B: Die Ernte erfolgte im Alter von 42 Tagen nach 8 Blattapplikationen.

Bei Zn-Mangel nahm der Gesamtgehalt an K, Ca und Mg der Wurzeln zu, während der P-Gesamtgehalt zurückging. Der bei Zn-Mangel stark erhöhte K-, Ca- und Mg-Gesamtgehalt wurde durch die Blattapplikation gesenkt. Auf den P-Gesamtgehalt der Wurzeln hatte die Blattapplikation bei Zn-Mangel keinen Einfluß.

Der Zn-Mangel führte zu einer Verminderung des Zn-Gesamtgehaltes der Wurzeln um 60% bis 70%. Durch die Blattdüngung konnten 75% der gesamten Zn-Menge der Kontrollpflanzen erreicht werden. Der Gesamtgehalt an Fe und Cu der Wurzeln, der bei Zn-Mangel erheblich zugenommen hatte, wurde durch die Blattapplikation auf das Niveau der Kontrolle gesenkt. Der Mn-Gesamtgehalt dagegen wurde um fast 50% erhöht.

Nährstoffgehalt der Hülsen

Wie bereits ausgeführt, wurden bei Fe-Mangel bzw. komplexer Mikronährstoff-Unterversorgung der Pflanzen keine Hülsen gebildet. Die Hülsen der mit dem Blattdünger behandelten Mangelpflanzen der beiden Varianten wiesen eine deutlich ($p \leq 0,01$) höhere K- und Ca-Konzentration auf, als die der Kontrolle. Dagegen wurde der P- und Mg-Gehalt kaum verändert (Tab. 28).

Sowohl bei Fe-Mangel als auch bei der multiplen Mikronährstoff-Unterversorgung, wiesen die Hülsen der mit dem Blattdünger behandelten Pflanzen eine deutlich höhere Mn-, Zn- und Cu-Konzentration auf als die der Kontrollvariante. Im Gegensatz dazu nahm der Fe-Gehalt trotz der Blattapplikation hochsignifikant ab. Besonders stark vermindert wurde der Fe-Gehalt der Hülsen, wenn die Pflanzen gleichzeitig dem Fe-, Mn- und Zn-Mangel ausgesetzt waren. Mit Ausnahme von Ca hatten der Mn- und der Zn-Mangel kaum Einfluß auf die Makronährstoff-Konzentration der Hülsen. Auch die Blattapplikation blieb ohne wesentlichen Einfluß auf den Makronährstoffgehalt der Früchte. Eine Ausnahme machte hierbei P, dessen Konzentration in Verbindung mit der Blattapplikation bei Mn-Mangel hochsignifikant zunahm.

Tab. 28: Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Hülsein von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln [Mittelwert und SD (in Klammern), n = 8].

Behandlung	Nährstoffgehalt (mg/g TS)				Nährstoffgehalt (µg/g TS)			
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)	5,6 (0,1)	33,2 (0,6)	10,9 (0,5)	2,1 (0,1)	141 (3)	20,2 (0,3)	29,4 (1,0)	8,2 (0,3)
ohne Fe ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
ohne Fe mit präv. BD ²⁾	5,9 (0,1)	44,5 (0,1)	13,6 (0,3)	2,0 (0,1)	107 (1)	37,5 (0,1)	46,8 (0,5)	18,5 (0,1)
ohne Fe, Mn, Zn ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
ohne Fe, Mn, Zn mit präv. BD ²⁾	8,0 (0,1)	46,5 (0,2)	14,3 (0,2)	2,6 (0,1)	29 (1)	27,0 (0,1)	38,6 (0,8)	23,5 (0,2)
ohne Mn	6,3 (0,2)	31,5 (0,1)	5,9 (0,4)	2,2 (0,1)	161 (14)	15,8 (0,3)	33,4 (2,5)	8,2 (0,3)
ohne Mn mit präv. BD ²⁾	8,5 (0,4)	31,3 (0,1)	5,6 (0,3)	2,2 (0,1)	150 (12)	20,0 (0,9)	30,6 (0,4)	9,8 (0,3)
ohne Zn	5,8 (0,2)	30,3 (0,1)	5,4 (0,4)	2,3 (0,1)	165 (1)	16,8 (2,4)	19,4 (2,1)	10,2 (0,3)
ohne Zn mit präv. BD ²⁾	6,2 (0,2)	33,1 (0,1)	5,4 (0,6)	2,2 (0,1)	186 (8)	20,7 (0,6)	27,7 (2,5)	9,0 (0,1)
GD (p£ 0,05)	0,6	1,1	1,6	0,1	32	3,7	6,4	1,3
GD (p£ 0,01)	0,8	1,3	1,9	0,2	38	4,5	7,7	1,6
Behandlung	Gesamtnährstoffgehalt (rel. Werte)							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)	16,6	99,3	32,7	6,3	422	60,4	88,1	24,5
abs. Werte ³⁾	100	100	100	100	100	100	100	100
rel. Werte								
ohne Fe ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
ohne Fe mit präv. BD ²⁾	22	28	26	20	16	38	33	47
ohne Fe, Mn, Zn ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
ohne Fe, Mn, Zn mit präv. BD ²⁾	39	31	18	27	28	26	36	68
ohne Mn	41	34	20	39	41	28	41	36
ohne Mn mit präv. BD ²⁾	113	70	38	77	78	74	77	89
Ohne Zn	48	42	23	50	54	38	30	57
ohne Zn mit präv. BD ²⁾	84	75	37	79	99	77	70	83

¹⁾ Bei Fe-Mangel und multipler Mikronährstoff-Unterversorgung wurden keine Hülsein gebildet.

²⁾ 9 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543.

³⁾ Absolute Werte für den Gesamtgehalt an Makronährstoffen (mg) bzw. Mikronährstoffen (µg) der Hülsein. Zur Ermittlung der relativen Werte wurden die absoluten Werte der Kontrolle 100% gesetzt. Alter der Pflanzen: 42 Tage.

Der Mn-Mangel hatte eine signifikante Zunahme des Fe- und Zn-Gehaltes der Hülsen zur Folge, während die Mn-Konzentration deutlich abnahm. Der Cu-Gehalt wurde nicht beeinflusst. Im Vergleich zur unbehandelten Variante führte die Blattdüngung zu einem leichten Rückgang des Fe- und Zn-Gehaltes, während der Mn-Gehalt durch die Blattapplikation der Hülsen bis auf das Niveau der Kontrollpflanzen angehoben wurde.

Die Hülsen der Zn-Mangelpflanzen wiesen einen höheren Fe- und Cu-Gehalt auf als die der vollversorgten Pflanzen. Der Mn- und insbesondere der Zn-Gehalt wurde bei Zn-Mangel vermindert. Diese Gehaltsabnahme konnte durch die Blattapplikation ausgeglichen werden. Während der erhöhte Cu-Gehalt durch die Blattapplikation leicht zurückging, wurde der Fe-Gehalt weiter gesteigert.

Was den Gesamtgehalt an Makronährstoffen der Hülsen betrifft, so wurden die in die Hülsen insgesamt aufgenommenen Makronährstoffmengen bei Fe-Mangel trotz der Blattapplikation um 70% bis 80% vermindert. In ähnlicher Größenordnung nahm der Makronährstoff-Gesamtgehalt der Hülsen trotz der Blattdüngung ab, wenn den Pflanzen neben dem Fe auch Mn und Zn fehlten.

Die Gesamtmenge an Makroelementen der Hülsen bei der Unterversorgung der Pflanzen mit Mn bzw. Zn gleichermaßen vermindert. Gegenüber den Hülsen der jeweiligen Mangelvariante führte die Blattdüngung zu einer Zunahme der Makroelementmenge, die insgesamt in den Hülsen eingelagert wurde. Im Vergleich zur Kontrolle wurde trotz dieses positiven Effektes der Blattapplikation jedoch eine deutlich niedrigere Menge an Makronährstoffen in den Hülsen eingelagert. Hinsichtlich der Einlagerung der Makronährstoffe in die Hülsen wurde Ca vom Mn- bzw. Zn-Mangel am stärksten betroffen. So wurden sowohl bei Mn- als auch Zn-Mangel trotz der Blattdüngung weniger als 40% der in den Hülsen der vollversorgten Pflanzen eingelagerten Ca-Menge erreicht.

Ähnlich wie bei den Makronährstoffen wurde die Einlagerung der Mikroelemente in die Hülsen bei Mikronährstoffmangel hochsignifikant vermindert. Im Vergleich zur optimalen Nährstoffversorgung ging der Fe-Gesamtgehalt der Hülsen trotz der Blattdüngung um 80% bis 90% zurück, wenn den Pflanzen Fe bzw. gleichzeitig Fe, Mn und Zn im Nährmedium fehlten. In vergleichbarer Weise wurde die Einlagerung der einzelnen Mikronährstoffe in die Hülsen bei der Unterversorgung der Pflanzen mit Mn bzw. Zn vermindert. Ein voller Ausgleich der negativen Auswirkungen des Mangels durch die Blattdüngung konnte nicht erzielt werden. Es ist jedoch hervorzuheben, daß dank der Blattapplikation die Mn-, bzw. Zn-Mangelpflanzen etwa doppelt soviel Mikronährstoffe in die Hülsen einlagerten wie die unbehandelten Pflanzen.

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß die z. T. hochsignifikant gesteigerten Nährstoffgehalte der Hülsen auf die durch den Nährstoffmangel bedingten reduzierten TS-Erträge der Hülsen zurückzuführen sind. Sie sind somit eher als Ergebnis des Konzentrationseffektes und weniger als Ausdruck einer realen Erhöhung der Nährstoffeinlagerung in den Hülsen zu verstehen. Im allgemeinen wurden die negativen Auswirkungen eines unzureichenden Nährstoffangebotes über die Wurzeln auf Ertrag und Qualität der Hülsen durch die Blattapplikation nicht ausgeglichen.

Gesamtnährstoffaufnahme

Wie aus der nachfolgenden Tabelle 29 hervorgeht, war mit dem Fe-Mangel eine hochsignifikante Abnahme der Gesamtmenge an Makronährstoffen verbunden, die insgesamt von der Pflanze aufgenommen wurden (Gesamtmakronährstoffaufnahme). In vergleichbarer Weise führte die gleichzeitige Unterversorgung der Pflanzen mit Fe, Mn und Zn zu einer erheblichen Verminderung der Gesamtmakronährstoffaufnahme. Weder bei Fe-Mangel noch bei multiplem Spurennährstoffmangel konnte die Blattapplikation dieser Beeinträchtigung der Gesamtnährstoffaufnahme entgegenwirken.

Tab. 29: Wirkung der Blattapplikation auf die Gesamtnährstoffaufnahme (gesamte Menge an Makro- bzw. Mikronährstoffen je Pflanze) von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln.

Behandlung	Gesamte Nährstoffmenge je Pflanze (rel. Werte)							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle) abs. Werte¹⁾ rel. Werte	62,3 100	332,3 100	173,9 100	26,1 100	1978 100	217,0 100	272,4 100	57,0 100
ohne Fe²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
ohne Fe mit präv. BD³⁾	55	65	52	72	15	168	222	229
ohne Fe, Mn, Zn²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
ohne Fe, Mn, Zn mit präv. BD³⁾	63	55	51	52	29	23	42	175
ohne Mn	64	64	67	60	87	41	72	76
ohne Mn mit präv. BD³⁾	89	83	79	78	100	118	129	107
ohne Zn	90	89	80	94	131	85	36	115
ohne Zn mit präv. BD³⁾	85	86	77	75	99	156	101	116

¹⁾ Absolute Werte für die Gesamtmenge an Makronährstoffen (mg) bzw. Mikronährstoffen (µg) je Pflanze. Zur Ermittlung der relativen Werte wurden die absoluten Werte der Kontrolle 100% gesetzt.

²⁾ Eine Bewertung der Behandlungen bezüglich der Gesamtnährstoffaufnahme wurde bei Fe-Mangel und bei komplexer Mikronährstoff-Unterversorgung nicht vorgenommen, da die Pflanzen aufgrund des Mangels im Alter von 37 Tagen abgestorben waren. Die gesamte Vegetationszeit betrug sonst 42 Tage.

³⁾ 9 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543.

Die Unterversorgung der Pflanzen mit Mn verminderte die Makronährstoffaufnahme hochsignifikant. Im Vergleich zur Mn-Mangelvariante wurde eine unverkennbare positive Wirkung durch die Behandlung der Pflanzen mit dem Blattdünger erzielt. Infolge des Mn-Mangels nahmen die Pflanzen trotz der Blattapplikation insgesamt 10 bis 25% weniger Massennährstoffe auf als die vollversorgten Kontrollpflanzen.

Der Zn-Mangel wirkte weniger repressiv auf die Makronährstoffaufnahme als der Fe- oder Mn-Mangel. Die Blattapplikation hatte einen eher negativen Effekt auf die gesamte Aufnahme der Makronährstoffe. Besonders stark beeinträchtigt wurde dabei die Mg-Aufnahme.

Bei vermindertem Fe- bzw. Fe-, Mn- und Zn-Angebot wurden von den Mangelpflanzen trotz der Blattapplikation insgesamt 80% weniger Fe als die Kontrollpflanzen aufgenommen. In Verbindung mit der Blattapplikation wurden bei Fe-Mangel doppelt so viel Mn und Zn aufgenommen als bei der Vollversorgungsvariante. Das gleichzeitige Fehlen von Fe, Mn und Zn im Nährmedium war trotz der Blattapplikation von einer Verminderung der gesamten Mn- und Zn-Aufnahme um jeweils 80% und 60% begleitet.

Bei der Mn-Unterversorgung der Pflanzen wurde die Gesamtmikron Nährstoffaufnahme signifikant bis hochsignifikant vermindert. Die negativen Auswirkungen des Mn-Mangels auf die Fe- und Cu-Aufnahme konnten durch die Blattapplikation voll ausgeglichen werden. Die von den behandelten Mn-Mangelpflanzen insgesamt aufgenommenen Mn- und Zn-Mengen wurden durch die Blattapplikation signifikant gesteigert.

Der Zn-Mangel führte zu einer signifikanten Verminderung der Mn- und Zn-Gesamtaufnahme. Dagegen wurden die Fe- und die Cu-Aufnahme signifikant gefördert. Die Zn-Mangelpflanzen nahmen aufgrund der Blattdüngung ebenso viel Zn auf wie die vollversorgten Pflanzen. Die infolge des Zn-Mangels verstärkte Fe-Aufnahme über die Wurzeln wurde durch die Blattapplikation abgeschwächt. Die in Verbindung mit dem Zn-Mangel verminderte Mn-Aufnahme wurde durch die Blattapplikation voll ausgeglichen. Die mit dem Blattdünger behandelten Zn-Mangelpflanzen hatten eine um 50% höhere Mn-Menge aufgenommen als die Pflanzen der Kontrollvariante.

Die insgesamt aufgenommenen Mengen an Spurennährstoffen bestätigen die bei den einzelnen Organen festgestellten Interaktionen zwischen einigen Elementen. Bei Fe-Mangel wurde die Mn- und Zn-Aufnahme gefördert. Umgekehrt reagierten die Pflanzen auf den Mn- bzw. Zn-Mangel mit einer verstärkten Fe-Aufnahme. Auch wenn schwach ausgeprägt, so waren die Wechselwirkungen zwischen Mn und Zn bei der gesamten Aufnahme doch nicht zu übersehen. Bei Mn-Mangel wurde die Zn-Aufnahme gefördert; umgekehrt wurde der Zn-Mangel von einer Erhöhung der Mn-Aufnahme begleitet.

5.1.4 DRIS-Indizes

In den Tabellen 12, 17 und 24 wurden die Nährstoffkonzentrationen der Blattfraktion als Indikator für den Ernährungszustand der Pflanzen wiedergegeben. In den Tabellen 30 und 31 sind die Nährstoff-Indizes ersichtlich. Zur Erleichterung der Interpretation wurde von manchen Autoren vorgeschlagen, DRIS-Indizes zwischen -7 und + 7 (SOLTANPOUR et al., 1995) bzw. -15 und + 15 (KELLING und SCHULTE, 1986) als optimalen Bereich anzusehen. In der vorliegenden Arbeit wurden Werte zwischen -10 und + 10 in Anlehnung an BALDOCK et al. (1996) als ausreichend (O für Optimum), Indizes unter -10 wurden als Zeichen von Mangel (M für Mangel) und Indizes oberhalb von +10 als hoch (H für hohe Nährstoffkonzentrationen ggf. relativen Überschuß) festgelegt (Tab. 30 und Tab. 31).

Bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln ließen die DRIS-Indizes eindeutig einen Mg-Mangel erkennen. Ca wurde als der nächste potentiell begrenzende Faktor nicht nur bei Mg-Mangel sondern auch bei den Blattdüngungsvarianten und zwar unabhängig von der Zusammensetzung der Dünger und dem Applikationszeitpunkt identifiziert. Da der Ca-Index jedoch den auf -10 festgelegten Grenzwert nicht überschritt, ist ein Ca-Mangel nicht zu befürchten. Alle anderen Nährstoffe waren im Bereich ausreichender Versorgung.

Ähnlich wie bei den Nährstoffkonzentrationen wurde Eisen bei multipler Mikronährstoff-Unterversorgung als der am stärksten im Minimum befindliche Nährstoff diagnostiziert. Auch Mangan lag im Mangelbereich. Eine signifikante Verbesserung der Fe-Versorgung konnte durch die Blattapplikation nicht erzielt werden, wie das aus den Fe-Indizes der verschiedenen Varianten deutlich zum Ausdruck kommt. Im Vergleich zu den anderen Nährstoffen ließen der K- und der Ca-Index einen leichten Mangel an diesen Nährstoffen erkennen. Bei Mn und Zn hingegen ist ein relativer Überschuß zu verzeichnen, und zwar bei den Varianten mit einer höheren Anzahl der Blattapplikationen (Tab. 30).

Tab. 30: DRIS-Indizes der Buschohne unter Einfluß verminderten Mg- resp. Mikronährstoff-Angebotes über die Wurzeln in Verbindung mit der Blattapplikation. Die Buchstaben in Klammern bedeuten Optimum (O), Mangel (M) und zu hohe Nährstoffkonzentration (H).

B e h a n d l u n g	Nährstoff-Indizes							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)	0	0	0	0	0	0	0	0
ohne Mg	-2 (O)	-6 (O)	-9 (O)	-29 (M)	-3 (O)	3 (O)	3 (O)	5 (O)
ohne Mg mit präv. BD ¹⁾ Wuxal SD 1525	-2 (O)	-3 (O)	-8 (O)	-1 (O)	-5 (O)	4 (O)	6 (O)	12 (H)
Wuxal SD 1390	-4 (O)	-6 (O)	-8 (O)	-4 (O)	-1 (O)	6 (O)	11 (H)	10 (O)
ohne Mg mit kur. BD ²⁾ Wuxal SD 1525	-3 (O)	-3 (O)	-5 (O)	-3 (O)	-4 (O)	3 (O)	2 (O)	7 (O)
Wuxal SD 1390	-8 (O)	-8 (O)	-11 (M)	-6 (O)	-9 (O)	7 (O)	0 (O)	9 (O)
ohne Mikro	4 (O)	1 (O)	-5 (O)	6 (O)	-58 (M)	-11 (M)	0 (O)	4 (O)
ohne Mikro mit präv. BD ³⁾ Wuxal SD 91543	-1 (O)	-10 (O)	-6 (O)	1 (O)	-39 (M)	31 (H)	14 (H)	-2 (O)
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	-1 (O)	-15 (M)	-8 (O)	1 (O)	-25 (M)	16 (H)	16 (H)	-2 (O)
ohne Mikro mit kur. BD ⁴⁾ Wuxal SD 91543	2 (O)	-9 (O)	-5 (O)	3 (O)	-16 (M)	7 (O)	6 (O)	0 (O)
Wuxal SD 91543 + 0,2% HS	1 (O)	-5 (O)	-6 (O)	0 (O)	-14 (M)	8 (O)	11 (H)	4 (O)

¹⁾7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 bzw. Wuxal SD 1390.

²⁾4 kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 1525 bzw. Wuxal SD 1390.

³⁾7 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% HS.

⁴⁾4kurative Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% HS.

Alter der Pflanzen: 42 Tage.

Bei fehlendem Fe-Angebot im Nährmedium (Tab. 31) wurden trotz der präventiven Blattapplikation nicht nur Fe, sondern auch Ca und Mg als limitierende Nährstoffe eingestuft und zwar in der Reihenfolge Fe>Ca>Mg. Besonders hoch waren der Zn- und der Mn-Index, gefolgt vom K-Index. Fehlten Mn und Zn neben Fe im Nährmedium, so lag sowohl Fe als P trotz der präventiven Blattapplikation im Mangelbereich. Alle anderen Nährstoffe waren im Bereich ausreichender Versorgung bzw. im Überschubbereich.

Bei Mn-Mangel ließen die DRIS-Indizes für Mn und P erkennen, daß neben dem Mn auch Mg im Mangelbereich war, obwohl die Mg-Konzentration keinen Hinweis darauf gab. Bei den mit dem Blattdünger präventiv behandelten Mn-Mangelpflanzen wirkten Cu, Mg und P wachstums- und ertragslimitierend.

Tab. 31: DRIS-Indizes der Buschbohne unter Einfluß verminderten Mikronährstoff-Angebotes über die Wurzeln in Verbindung mit der Blattapplikation. Die Buchstaben in Klammern bedeuten Optimum (O), Mangel (M) und zu hohe Nährstoffkonzentration (H).

B e h a n d l u n g	Nährstoff-Indizes							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)	0	0	0	0	0	0	0	0
ohne Fe	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.
ohne Fe mit präv. BD ¹⁾	-5 (O)	36 (H)	-45 (M)	-25 (M)	-123 (M)	115 (H)	829 (H)	8 (O)
ohne Fe, Mn, Zn	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.	nb.
ohne Fe, Mn, Zn mit präv. BD ¹⁾	-18 (M)	39 (H)	-9 (O)	-2 (O)	-61 (M)	33 (H)	40 (H)	40 (H)
ohne Mn	16 (H)	3 (O)	-1 (O)	-17 (M)	44 (H)	-45 (M)	29 (H)	36 (H)
ohne Mn mit präv. BD ¹⁾	-12 (M)	-2 (O)	-6 (O)	-34 (M)	16 (H)	69 (H)	92 (H)	-49 (M)
ohne Zn	41 (H)	0 (O)	-16 (M)	-1 (O)	19 (H)	12 (H)	-36 (M)	16 (H)
ohne Zn mit präv. BD ¹⁾	6 (O)	6 (O)	-9 (O)	-39 (M)	-13 (M)	93 (H)	89 (H)	-9 (O)

¹⁾9 präventive Blattapplikationen mit Wuxal SD 91543.

nb.: nicht bestimmt. Aufgrund des Nährstoffmangels starben die Pflanzen im Alter von 37 Tagen ab.

Alter der Pflanzen bei den übrigen Varianten: 42 Tagen.

Wenn die Pflanzen einer Zn-Unterversorgung ausgesetzt waren, stellten die DRIS-Indizes Zn als einzigen Nährstoff im Mangelbereich heraus. Bei der Blattapplikation wurden Mg und Fe als die im Mangel befindlichen Nährstoffe identifiziert. Offensichtlich wurde die Nährstoffrelation durch die Blattapplikation zuungunsten von Mg und Fe verschoben. Alle übrigen Nährstoffe waren im Bereich ausreichender Versorgung.

Zusammenfassend wird festgehalten, daß die DRIS-Indizes wichtige Informationen liefern können, mit denen die Beurteilung des Ernährungszustandes der Pflanzen erleichtert und zusammen mit den Konzentrationsangaben die Diagnosesicherheit erhöht werden kann.

5.2 Langzeitversuche

5.2.1 Vermindertes Mg- resp. Mikronährstoffangebot

5.2.1.1 Vegetatives Wachstum

Unter der Annahme, daß mit dem Beginn der Blütenbildung das vegetative Wachstum weitgehend abgeschlossen ist, wirkte sich eine Verminderung des Mg- resp. Mikronährstoff-Angebotes um 90% im Jugendstadium kaum auf das vegetative Wachstum der Pflanzen aus (Abb. 17).



volle NL (Kontrolle)

ohne Mg¹⁾

ohne Mikro²⁾

Abb. 17: Einfluß verminderter Mg- resp. Mikronährstoff-Unterversorgung auf das vegetative Wachstum von inokulierten Buschbohnenpflanzen.

¹⁾Bis zu Blühbeginn wurde das Mg-Angebot auf 10% der Kontrolle reduziert.

²⁾Bis zu Blühbeginn wurde das Mikronährstoffangebot auf 10% der Kontrolle reduziert.
Alter der Pflanzen: 28 Tage.

Bei Mg-Mangel wurden die in den Kurzzeitversuchen hinsichtlich Habitus und Ertragsbildung gemachten Beobachtungen durch die Langzeitversuche bestätigt. Sowohl bei den Versuchen mit dem Quarzsand im Glashaus als auch bei der Hydrokultur in der Klimakammer war eine Mg-Gabe in Höhe von 10% des Mg-Angebotes der Kontrollvariante für ein normales Wachstum der Pflanzen bis zum Blühbeginn ausreichend.

Im Gegensatz zu den Kurzzeitversuchen, bei denen die Pflanzen auf die Mikronährstoff-Unterversorgung mit der Ausbildung von Mangelsymptomen reagierten (Abb. 9 und Abb. 10) und vermindertem Wachstum (Abb. 12), ermöglichte das Mikronährstoffangebot von 10% bei den Sandkulturversuchen ein ungestörtes Wachstum der Pflanzen bis zu Beginn der generativen Phase. Dies erklärt sich dadurch, daß bei den Festsubstratversuchen, im Gegensatz zur reinen Hydrokultur mit regelmäßigem Nährlösungswechsel, trotz des geringen Angebotes eine Nährstoffakkumulation im Festsubstrat stattgefunden hat und überdies Einträge (Staub, Aerosole) aus der Umgebung zur unerwünschten Versorgung der Pflanzen mit Spurennährstoffen beigetragen haben, wodurch das vegetative Wachstum ungestört verlaufen konnte.

5.2.1.2 *Generative Entwicklung und Ertragsbildung*

Blütenanzahl

Das verminderte Mg- resp. Mikronährstoff-Angebot während des vegetativen Wachstums hatte keinen Einfluß auf den Übergang der Pflanzen in die generative Phase. Auch die Blühperiode war bei allen Behandlungen gleich lang und erstreckte sich auf ca. 10 Tage. Anhand der am Ende der Blühperiode ausgezählten kleinen Hülsen scheint das verminderte Nährstoffangebot im Jugendstadium keine Beeinträchtigung der Blütenbildung bewirkt zu haben. Unabhängig von der Behandlung wurden im Mittel 20 Blüten je Pflanze gezählt.

Anzahl der Hülsen und der Samen

Im Vergleich zur Kontrolle, bei der eine Hülsenabwurfrate von 50% registriert wurde, gelangten bei Mg-Mangel während der generativen Phase nur noch etwa 15% der angesetzten Hülsen zur Reife (Abb. 18). Bei der Mikronährstoff-Mangelvariante wurden nur 23% der Hülsen im Vergleich zur Vollversorgung ausgebildet (Abb. 19).

Die Blattapplikation wirkte den negativen Auswirkungen des Nährstoffmangels auf die Hülsenbildung entgegen. Die mit Mg-Blattdüngern behandelten Pflanzen brachten genauso viele Hülsen zur Reife wie die Kontrollpflanzen. Bei den Mikronährstoff-Blattdüngungsvarianten lag die Anzahl der geernteten Hülsen gegenüber der Vollversorgung um 10% niedriger. Diese Differenz war nicht signifikant.

Die Unterversorgung der Pflanzen mit Magnesium resp. Mikronährstoffen während der generativen Phase führte zu einer signifikanten Verminderung (20-30%) der Anzahl der Samen je Hülse. Die Pflanzen der Blattdüngungsvarianten legten im Durchschnitt 10% weniger Samen in ihren Hülsen an als die Kontrollpflanzen. Das durchschnittliche Samengewicht (ausgedrückt als das 100 Korngewicht) wurde weder durch den Mangel an Mg bzw. Spurennährstoffen während der reproduktiven Entwicklung noch durch die Blattapplikation signifikant beeinflusst. Auch wirkte sich die Blattapplikation kaum auf das Einzelkorngewicht aus.

Daraus ergibt sich, daß für die Höhe des Samenertrages in erster Linie die Anzahl der insgesamt angelegten Samen je Pflanze den Ausschlag gab. Die Anzahl der Samen je Pflanze, die sich aus der Anzahl der Hülsen je Pflanze zur Reife und der Anzahl der Samen je Hülse ergibt, wurde bei Mg- resp. Mikronährstoff-Mangel während der reproduktiven Phase hochsignifikant reduziert. Die Blattapplikation wirkte diesem negativen Effekt des Nährstoffmangels derart entgegen, daß über 90% der unter optimaler Nährstoffversorgung gebildeten Samen erreicht wurden.

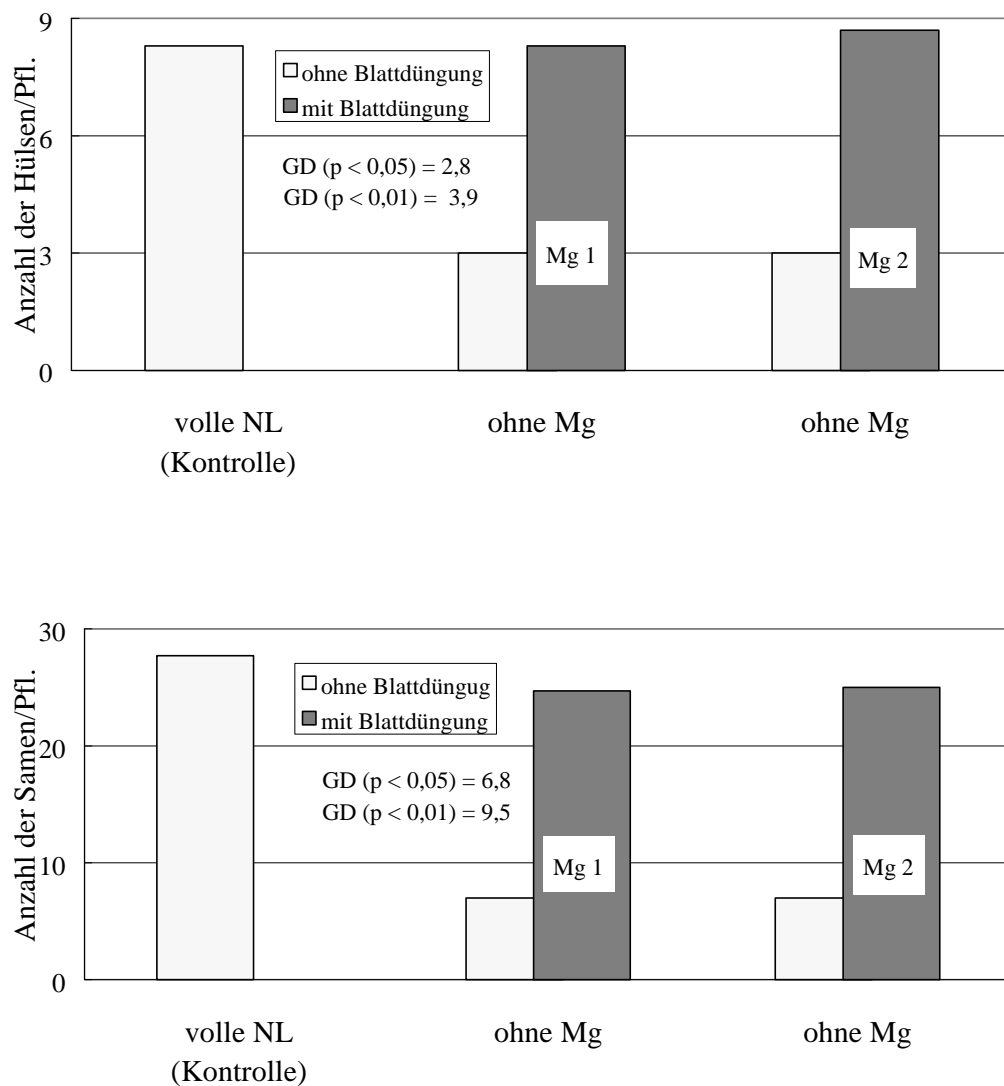


Abb. 18: Wirkung der Blattapplikation auf die Hülse- und Samenbildung von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.

Mg 1/Mg 2: vom Blühbeginn an wurden die Mangelpflanzen alle 7 Tage Wuxal SD 1525 (Mg 1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2) behandelt. Insgesamt wurden 4 Blattapplikationen durchgeführt.

Insgesamt wurden 4 Blattapplikationen durchgeführt.

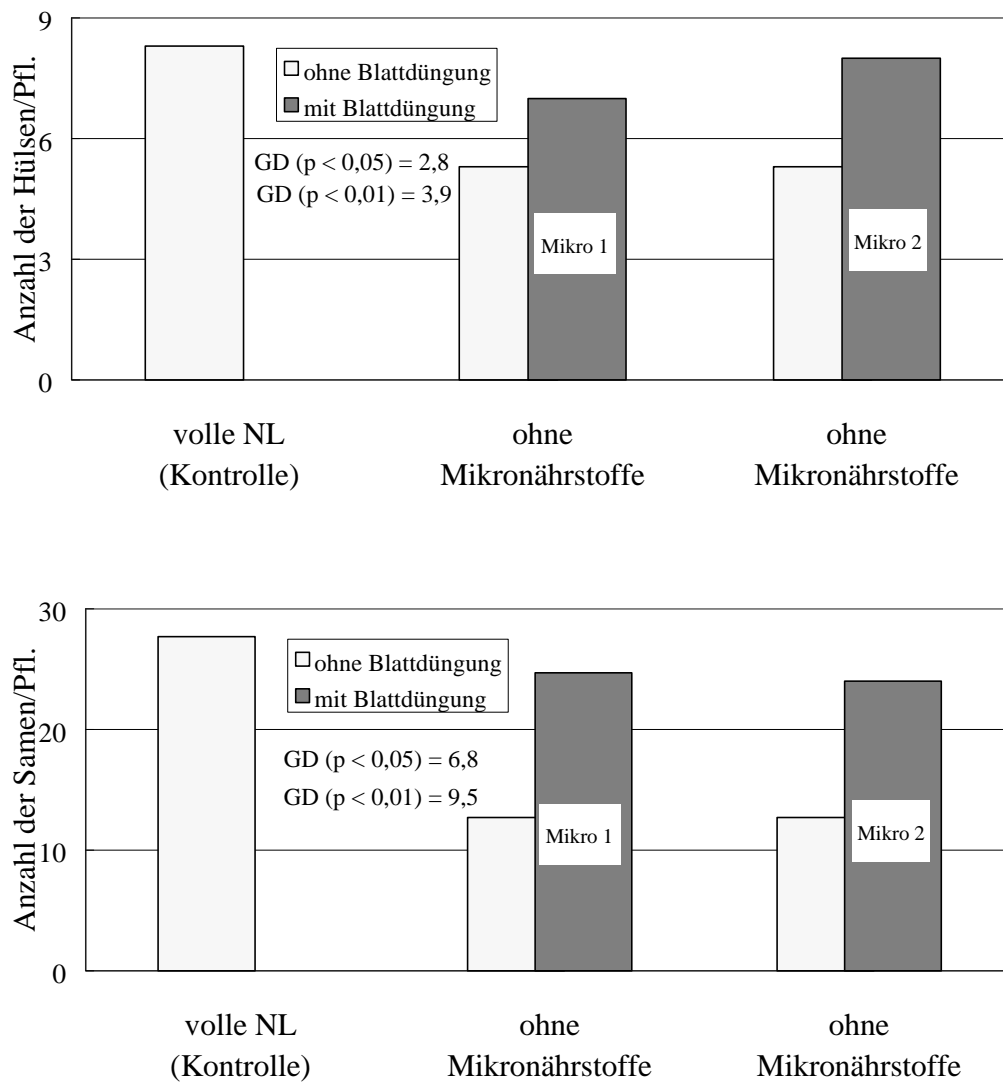


Abb. 19: Wirkung der Blattapplikation auf die Hülsen- und Samenbildung von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.

Mikro 1/Mikro 2: vom Blühbeginn an wurden die Mangelpflanzen alle 7 Tage mit Wuxal SD 91543 (Mikro 1) bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff (Mikro 2) behandelt.

Insgesamt wurden 4 Blattapplikationen durchgeführt.

Samenertrag und Gesamtbiomasseproduktion

Der Samenertrag wurde durch den Mg- bzw. Mikronährstoff-Mangel im Laufe der generativen Phase hochsignifikant vermindert (Abb. 20 und Abb. 21).

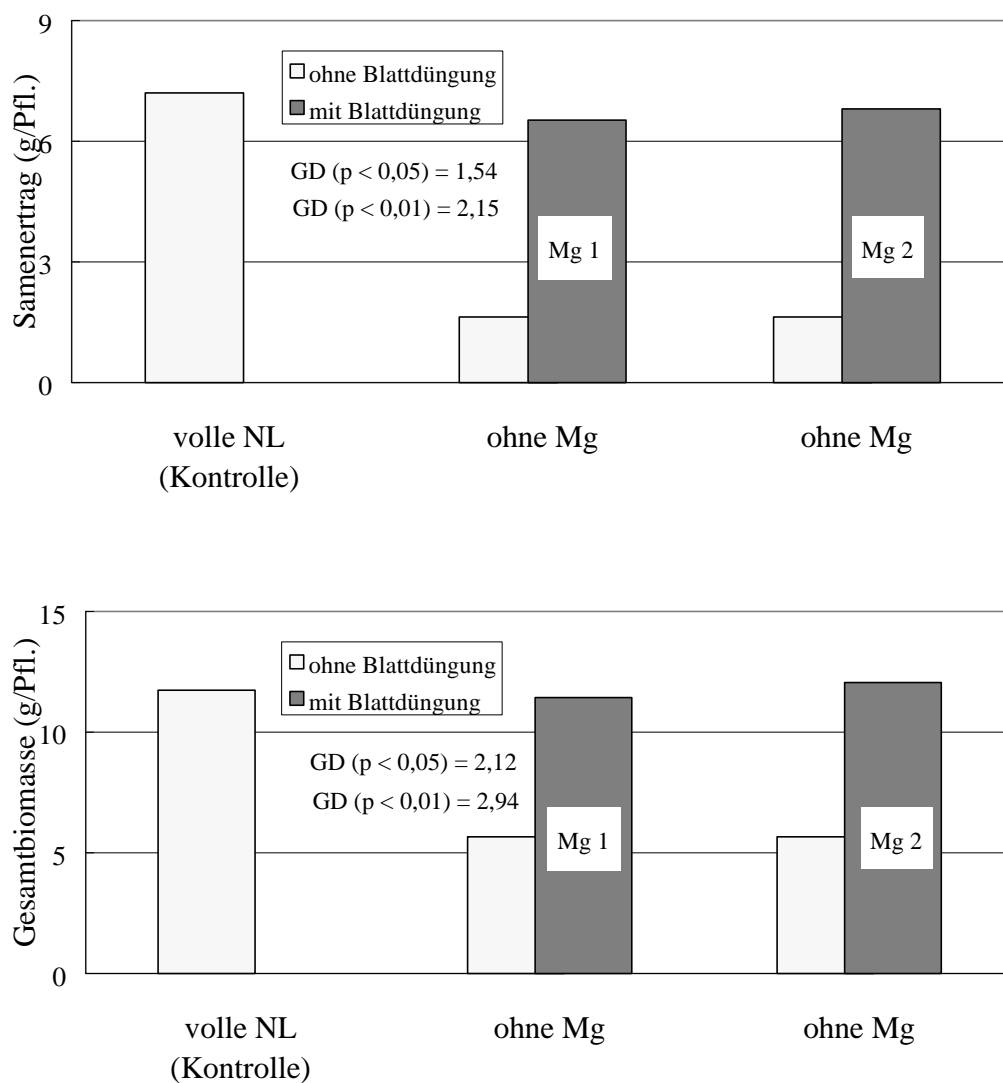


Abb. 20: Wirkung der Blattpplikation auf den Samenertrag und die Gesamtbiomasse von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.

Mg 1/Mg 2: vom Blühbeginn an wurden die Mangelpflanzen alle 7 Tage Wuxal SD 1525 (Mg 1) bzw. Wuxal SD 1390 (Mg 2) behandelt. Insgesamt wurden 4 Blattpplikationen durchgeführt.

Insgesamt wurden 4 Blattpplikationen durchgeführt.

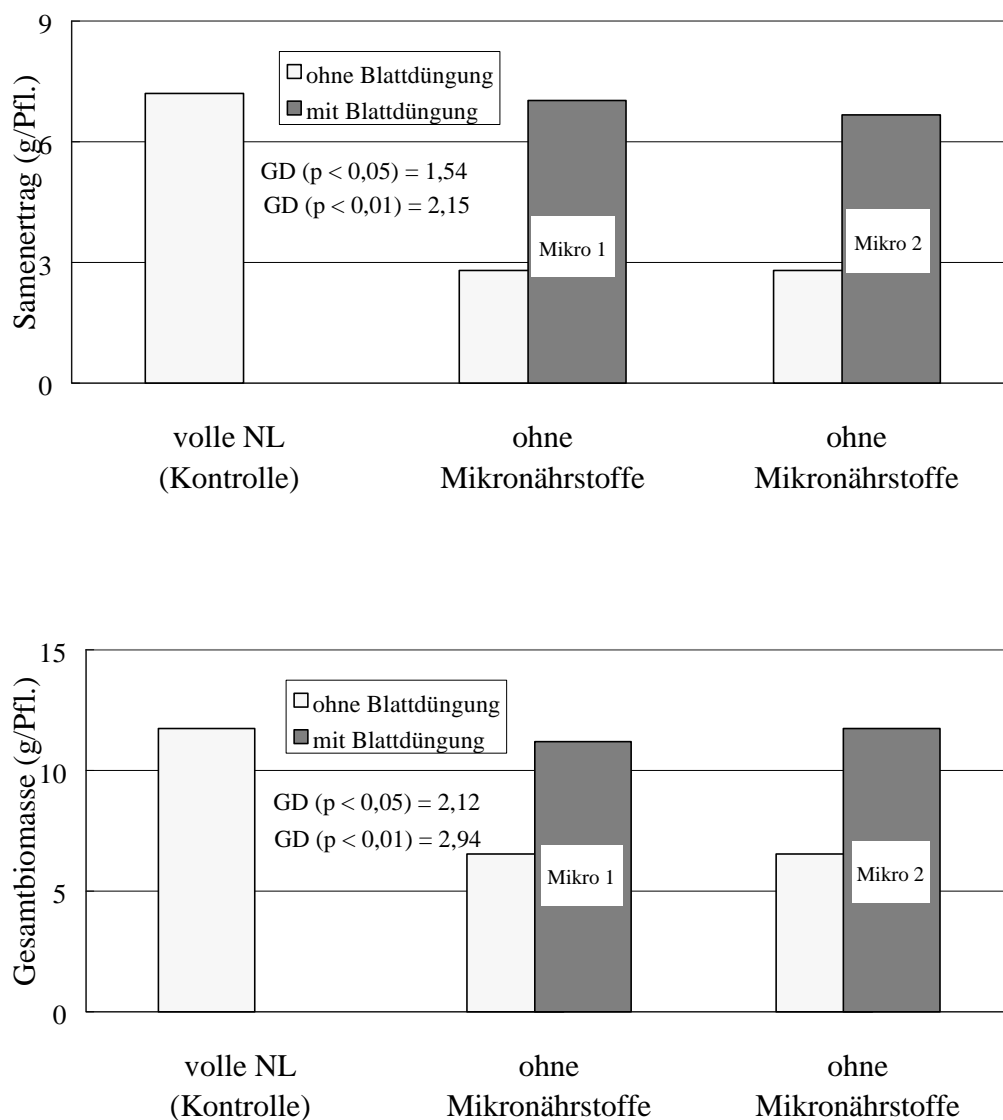


Abb. 21: Wirkung der Blattapplikation auf den Samenertrag und die Gesamtbiomasse von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.

Mikro 1/Mikro 2: vom Blühbeginn an wurden die Mangelpflanzen alle 7 Tage mit Wuxal SD 91543 (Mikro 1) bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff (Mikro 2) behandelt.

Insgesamt wurden 4 Blattapplikationen durchgeführt.

Bei den Pflanzen, die vom Blühbeginn an dem Mg-Mangel ausgesetzt waren, wurde maximal 25% des Samenertrages der vollversorgten Kontrollpflanzen erreicht (Abb. 20). Eine derart starke Ertragsdepression als Folge des Mg-Mangels während der reproduktiven Phase konnte durch die Blattapplikation wirkungsvoll verhindert werden. Im Vergleich zur Vollversorgung wurde in keiner der Blattdüngungsvarianten ein Ertragsrückgang von mehr als 10% registriert.

Im Vergleich zur Vollversorgung hatte die Unterversorgung der Pflanzen mit den Spurenelementen während der generativen Entwicklung einen hochsignifikanten Rückgang des Samenertrages um 60% zur Folge (Abb. 21). Ähnlich wie bei Mg-Mangel wurden mit Hilfe der Blattdüngung bei Mikronährstoffmangel 95% des Samenertrages der Kontrolle erreicht.

Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß trotz der Blattapplikation die Mangelpflanzen im Laufe der generativen Entwicklung Mg-Mangelsymptome zeigten. Diese traten in Form einer Interkostalchlorose mittlerer und oberer Blätter auf, während die älteren und ältesten keine visuell erkennbare Veränderungen aufwiesen. In Verbindung mit dem stärker ansteigenden Mg-Bedarf der Hülsen wurde das Mg den vegetativen Teilen der Pflanzen zugunsten der Samen entzogen.

Die Chlorosen verstärkten sich und breiteten sich zunächst akropetal aus, bevor sie in braune Nekrosen übergingen, die bald die gesamte Pflanze erfaßten. Gegen Versuchsende waren alle Mg-Mangelpflanzen trotz der Blattdüngung völlig nekrotisch, während die Kontrollpflanzen noch symptomfrei erschienen. Die Mikronährstoff-Mangelsymptome waren aufgrund der Blattapplikation in ihrer Ausprägung schwächer als die des Mg-Mangels.

Harvest-Index

Zur Ertragsanalyse wurde auch der Harvest-Index herangezogen. Er bringt den unter gegebenen Versuchs- bzw. Produktionsbedingungen erreichten Ausnutzungsgrad der gebildeten Trockensubstanz und damit den Verwertungsgrad der eingesetzten Produktionsmittel durch die angebauten Pflanzen zum Ausdruck. Er ergibt sich aus dem Verhältnis des Kornertrages zum gesamten TS-Ertrag der oberirdischen Pflanzenteile.

Der Harvest-Index gibt den Anteil der insgesamt gebildeten Trockensubstanz an, die zur Erzeugung des ökonomisch wertvollen Ertrages verwendet wird. Sowohl bei Vollversorgung als auch bei den Blattapplikationsvarianten lag der Harvest-Index als Verhältnis zwischen dem Korn-TS-Ertrag und dem gesamten TS-Ertrag der oberirdischen Pflanzenteile bei 0,6. Dagegen hatten die Pflanzen, die dem Nährstoffmangel ausgesetzt waren, einen Harvest-Index von 0,3 bis 0,4.

Dies bedeutet, daß bei Nährstoffmangel während der reproduktiven Phase nicht nur die Substanzbildung eingeschränkt, sondern auch die Verwertung der bereits erzeugten Substanz stark beeinträchtigt wird. Dies wird bei der Gegenüberstellung der relativen Werte für den Stroh- und den Kornertrag noch deutlicher. Im Vergleich zur Kontrolle war der Strohertrag der Mg- und Mikronährstoff-Mangelpflanzen um jeweils 20% und 10% vermindert. Hingegen ging der Samenertrag aufgrund des Mangels an Mg resp. Mikronährstoffen jeweils um 80% und 60% zurück.

5.2.2 Blattapplikation bei unterschiedlicher N-Versorgung

In einem Vorversuch wurden verschiedene Rhizobium-Stämme über das Wachstum und den Ertrag von Buschbohne auf ihr N₂-Bindungspotential in Abhängigkeit von der N-Düngung getestet. Ihr Einfluß auf das vegetative Wachstum wurde anhand des TS-Ertrages der Blätter und Stengel beurteilt. Für die Ertragsbildung wurden die Anzahl der Samen pro Pflanze und deren Trockengewicht (Samen-TS) gewählt. Die absoluten Werte der genannten Parameter sind aus der nachfolgenden Tabelle 32 ersichtlich.

Aus den in der Tabelle 32 dargestellten Ergebnissen ist zweifelsfrei erkennbar, daß die verwendeten Rhizobium-Stämme in ihrer Effizienz als gleichwertig zu bewerten sind. Wechselwirkungen zwischen den Stämmen und der Höhe der N-Düngung wurden nicht festgestellt. Die N-Düngung erwies sich als vorteilhaft.

Tab. 32: Wirkung der Rhizobien-Impfung und der N-Düngung auf einige ausgewählte Parameter des vegetativen Wachstums und der Ertragsbildung von Buschbohne [Mittelwert \pm SD, n = 3].

Rhizobien-Impfung mit oder ohne N-Düngung		ausgewählte Parameter			
N-Gabe (mg/Gef.)	Rhizobien-Stamm-Nr.	Blatt-TS (g/Pfl.)	Stengel-TS (g/Pfl.)	Anzahl der Samen/Pfl.	Samen-TS (g/Pfl.)
240	510	1,9 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	25 \pm 3	6,4 \pm 0,6
0	510	0,9 \pm 0,2	0,4 \pm 0,1	12 \pm 2	2,9 \pm 0,5
240	544	1,9 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	25 \pm 2	6,7 \pm 0,9
0	544	0,9 \pm 0,1	0,4 \pm 0,2	13 \pm 1	3,5 \pm 0,4
240	579	1,8 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	27 \pm 3	7,6 \pm 0,9
0	579	1,0 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	15 \pm 2	3,8 \pm 0,6
240	Mischung	2,0 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	28 \pm 3	7,2 \pm 0,9

Im Vergleich zur Variante ohne N-Düngung produzierten die gedüngten Pflanzen etwa doppelt soviel Trockenmasse sowohl bei den vegetativen oberirdischen Pflanzenteilen als auch beim Kornertrag. Dieses Ergebnis läßt den Schluß zu, daß unter den vorliegenden Versuchsbedingungen die symbiontisch fixierten N-Mengen unzureichend waren, um den N-Bedarf der Pflanzen decken zu können. Aufgrund der suboptimalen N-Versorgung konnte das Ertragspotential der Pflanzen also nicht ausgeschöpft werden. Somit waren versuchsmethodisch gute Voraussetzungen geschaffen, um die Wirkung unterschiedlicher N-Düngung im Jugendstadium sowie den Effekt von N-haltigen Blattdünger-Formulierungen während der reproduktiven Phase der Pflanzen in Verbindung mit einer zusätzlichen N-Gabe zu Blühbeginn zu untersuchen.

5.2.2.1 Vegetatives Wachstum

In Ergänzung zu den im Laufe der Vegetationszeit durchgeführten Beobachtungen (Ausbildung eventueller Mangelsymptome und Allgemeinzustand der Pflanzen) erfolgte die Beurteilung des Effektes der untersuchten Prüffaktoren auf das vegetative Wachstum der Pflanzen retrospektiv.

Gemessen an der Wuchshöhe und der Blattfläche wurde das vegetative Wachstum durch eine Startdüngung von 240 mg N/Gef. (das entspricht 40 kg N/ha) hochsignifikant gefördert (Abb. 22). Andere Wachstumsparameter wie Verzweigung und Stengeltrockenmasse wurden durch die Startdüngung in ähnlicher Weise positiv beeinflusst.

Die Pflanzen der "0-Variante" (ohne Startdüngung), die ausschließlich auf die N₂-Bindung angewiesen waren, blieben im Wachstum deutlich zurück, als die N-Reserven aus den Samen und aus dem Boden aufgebraucht waren. Bevor die Symbiose einsetzte und die N-Versorgung der Pflanzen gewährleisten konnte, bildeten sich N-Mangelsymptome aus. Die Pflanzen blieben klein, hatten dünne Stengel und entwickelten kleine Blätter, die sich außerdem allmählich von älteren zu den jüngeren Blättern oben aufhellten. Mit zunehmendem Alter wurde die Chlorose verstärkt. Selbst die Pflanzen, die eine Startdüngung erhalten hatten, zeigten zu Blühbeginn eine leichte N-Mangelchlorose. Das veranlaßte eine Erhöhung der für die Nachdüngungsvarianten ursprünglich vorgesehenen N-Gabe von 20 kg N/ha (120 mg N/Gef.) auf 40 kg N/ha (240 mg N/Gef.)⁵.

Eine Woche nach Beginn der Blühphase waren alle Pflanzen, einschließlich jener, die keine N-Düngung erhalten hatten, wieder dunkelgrün. Diese Wiederergrünung wurde der N₂-Fixierung zugeschrieben, die drei Wochen nach der Rhizobien-Impfung eingesetzt hatte. Die Intensität der Grünfärbung der Blätter hielt bis zur Reife an.

⁵ Gemäß Empfehlung des RADICIN-Institutes für landwirtschaftliche Bakteriologie, Iserlohn.

Wie aus der nachfolgenden graphischen Darstellung hervorgeht, konnten die Auswirkungen eines unzureichenden N-Angebotes im Jugendstadium auf das vegetative Wachstum der Pflanzen durch die Nachdüngung zu Blühbeginn nicht mehr ausgeglichen werden (Abb. 22). Ebenso unwesentlich wie die Nachdüngung wirkte sich die Blattapplikation N-haltiger Blattdünger während der generativen Phase auf die zur Beurteilung des vegetativen Wachstums ausgewählten Parameter aus.

Im Gegensatz dazu beeinflusste die Kombination der Nachdüngung mit der Blattapplikation die Blattflächenentwicklung hochsignifikant positiv. Diese positive Wechselwirkung zwischen Nachdüngung und Blattapplikation zu Blühbeginn war stärker bei den Pflanzen, die eine N-Startdüngung erfahren hatten als bei den Pflanzen der Nullvariante. Sie war somit vom N-Ernährungszustand der Pflanzen abhängig.

Trotz der Kombination Nachdüngung/Blattapplikation lag die Blattfläche bei der Variante ohne Startdüngung im Mittel der beiden Versuchsjahre um ca. 15% unter der Kontrolle. Dagegen führte die Kombination beider Düngungsmaßnahmen zu einer Vergrößerung der Blattfläche um 40% gegenüber der Kontrolle, wenn die Pflanzen eine Startdüngung von 240 mg N/Gef. erhalten hatten. Von einigen Ausnahmen abgesehen, erwiesen sich die eingesetzten Blattdünger in beiden Versuchsjahren als gleichwertig.

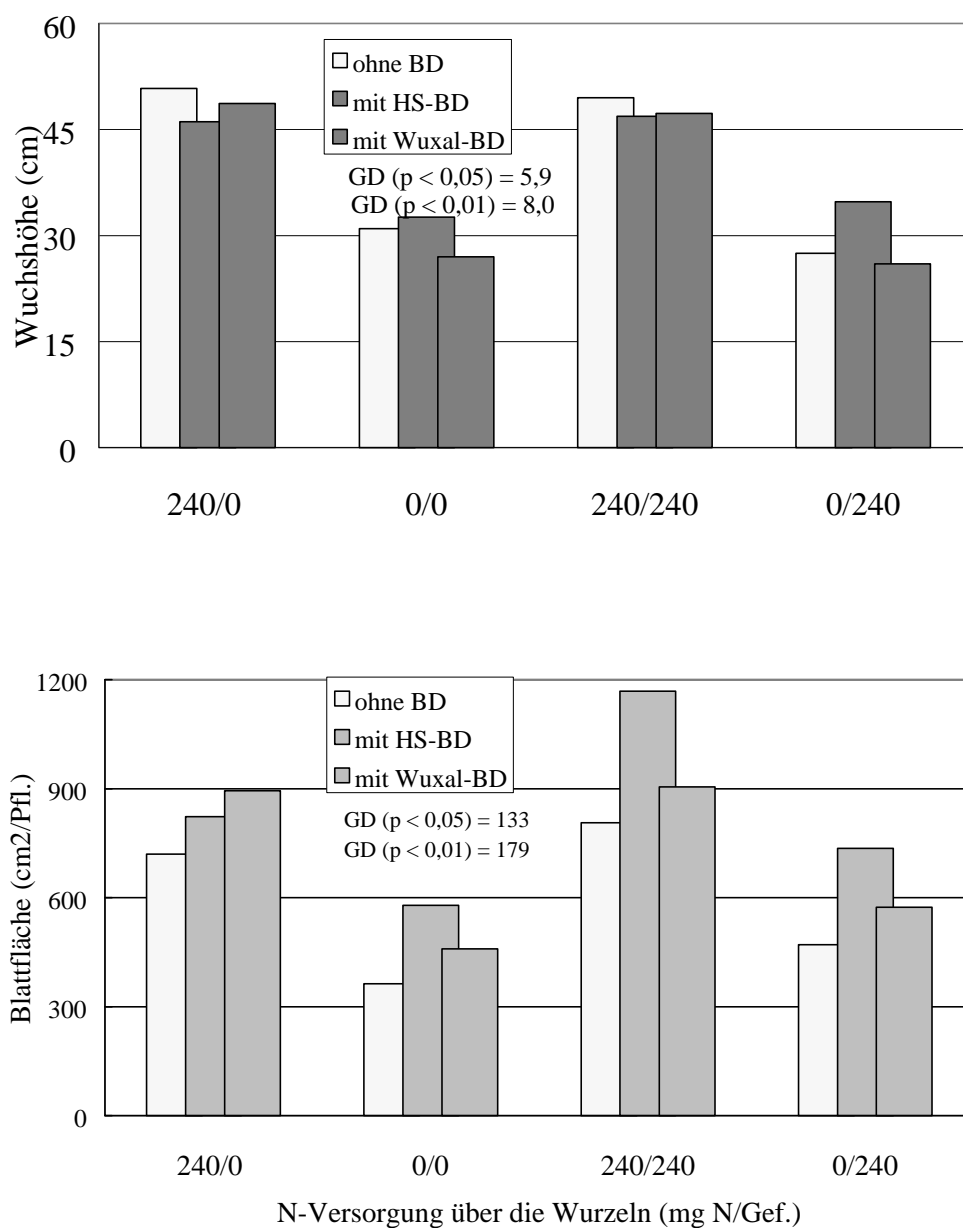


Abb. 22: Wirkung unterschiedlicher N-Düngung und der Blattapplikation auf die Wuchshöhe und die Blattfläche inokulierter Buschbohnenpflanzen.

Vom Blühbeginn an wurden die Pflanzen der Blattdüngungsvarianten je nach Variante alle 7 Tage mit Harnstoff (HS-BD) bzw. mit Wuxal Typ 6 und Wuxal SD 1168 (Wuxal-BD) behandelt.

Insgesamt wurden 4 Blattapplikationen durchgeführt.

5.2.2.2 *Generative Entwicklung und Ertragsbildung*

Anzahl der Blüten

Als Blühbeginn bei *Phaseolus vulgaris* gilt nach LEBARON (1974) der Zeitabschnitt, in dem die meisten Pflanzen mindestens eine offene Blüte zeigen. Unabhängig von der Höhe der Startdüngergabe gingen die Pflanzen 4 Wochen nach Aufgang in die generative Phase über. Die Blühphase dauerte bei allen Düngungsstufen in beiden Versuchsjahren ca. zehn Tage. Wegen des zu großen Zeitaufwandes aufgrund des Versuchsumfanges mußte auf eine laufende Auszählung der Blüten verzichtet werden. Es wurden lediglich die am Ende der Blühphase sichtbaren Hülsen unabhängig von ihrer Größe ausgezählt und ihre Anzahl als die Mindestanzahl der gebildeten Blüten je Pflanze betrachtet. Die auf diese Weise ermittelte Blütenzahl ist in der nachfolgenden Abbildung 23 ersichtlich.

Auf ein unzureichendes N-Angebot im Jugendstadium reagierten die Pflanzen mit einer hochsignifikant verminderten Blütenbildung. Im Vergleich zur Kontrolle wurden im Mittel beider Versuchsjahre 40% weniger Blüten gebildet, wenn die Pflanzen statt 240 mg N/Gef. (Kontrolle) keine N-Düngung erhalten haben. Unabhängig von der Höhe der N-Düngergabe bildeten die Pflanzen 1989 je nach Behandlung deutlich mehr Blüten.

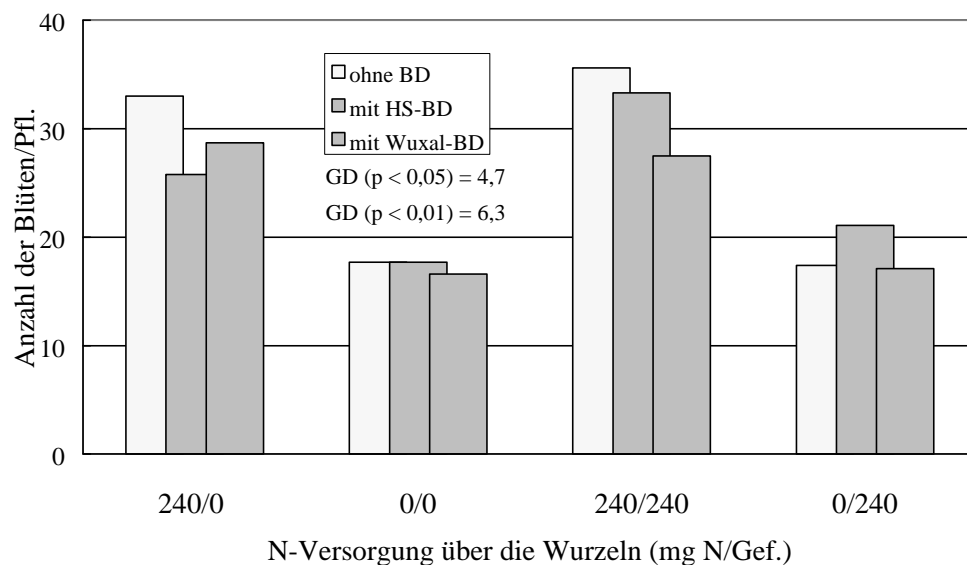


Abb. 23: Wirkung unterschiedlicher N-Düngung und der Blattapplikation auf die Blütenbildung inokulierter Buschbohnenpflanzen.

Vom Blühbeginn an wurden die Pflanzen der Blattdüngungsvarianten je nach Variante alle 7 Tage mit Harnstoff (HS-BD) bzw. mit Wuxal Typ 6 und Wuxal SD 1168 (Wuxal-BD) behandelt.

Insgesamt wurden 4 Blattapplikationen durchgeführt.

Von den am Ende der Blühperiode ausgezählten Hülsen gelangten in beiden Versuchsjahren nur ca. 30% zur Reife. Zwischen den Behandlungen wurden bezüglich der Hülsenabwurfrate nur unwesentliche Unterschiede festgestellt. Als Folge der unzureichenden N-Versorgung der Pflanzen gelangten 20% bis 40% weniger Hülsen zur Reife als bei optimaler N-Startdüngung (Abb. 24).

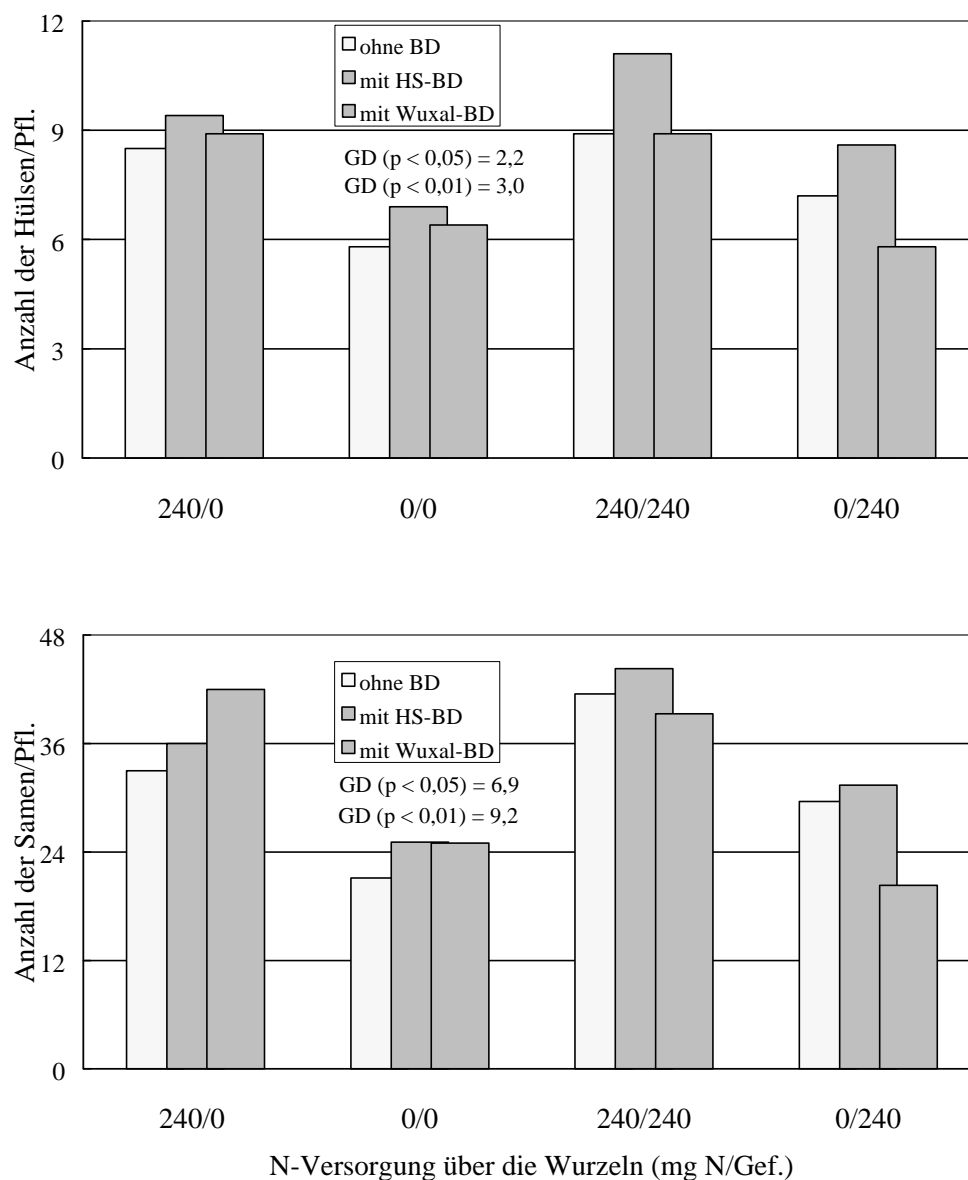


Abb. 24: Wirkung unterschiedlicher N-Düngung und der Blattapplikation auf die Hülsen- und Samenbildung inokulierter Buschbohnenpflanzen.

Vom Blühbeginn an wurden die Pflanzen der Blattdüngungsvarianten je nach Variante alle 7 Tage mit Harnstoff (HS-BD) bzw. mit Wuxal Typ 6 und Wuxal SD 1168 (Wuxal-BD) behandelt. Insgesamt wurden 4 Blattapplikationen durchgeführt.

Die Nachdüngung von 240 mg N/Gef. zu Blühbeginn übte keinen statistisch gesicherten Einfluß auf die Anzahl der Hülsen aus, die am Ende der Vegetationsperiode geerntet wurden. Ebenso unwesentlich wie die Nachdüngung wirkte sich die Blattapplikation während der reproduktiven Entwicklung auf die Hülsenbildung aus.

Bemerkenswert ist, daß eine Kombination der Nachdüngung zu Blühbeginn mit der Blattdüngung während der Kornfüllung zu einer beachtlichen Erhöhung der Anzahl der Hülsen führte, die zur Reife gelangten. Hierbei war eine Abhängigkeit dieses positiven Effektes der Blattapplikation von der N-Startdüngung und somit vom N-Ernährungsstatus der Pflanzen zu verzeichnen. Die Pflanzen, die bis zu Blühbeginn nur auf die N₂-Fixierung angewiesen waren, produzierten trotz der Kombination Nachdüngung/Blattapplikation im Mittel beider Versuchsjahre ca. 10% weniger Hülsen als die Kontrollpflanzen. Dagegen wurden 25% mehr Hülsen geerntet, wenn der Kombination Nachdüngung/Blattapplikation eine Startdüngung in Höhe von 240 mg N/Gef. vorangegangen war.

Die verschiedenen Behandlungen übten auf die Ertragskomponenten Anzahl der Samen/Hülse und Samengewicht keinen signifikanten Einfluß aus. Daher wurde die Höhe des Kornertrages, wie bereits erwähnt, in erster Linie von der Anzahl der Samen pro Pflanze bestimmt (Abb. 25). Der N-Mangel während des vegetativen Wachstums führte über den verminderten Hülsenansatz (Anzahl der Hülsen je Pflanzen) zur Verminderung der Samenbildung (Anzahl der Samen pro Pflanzen) und reduzierte somit den Kornertrag. Die Pflanzen, die bis zu Blühbeginn ohne N-Düngung wuchsen, produzierten halb soviel Samen wie die mit 240 mg N/Gef. gedüngten Kontrollpflanzen. In der gleichen Größenordnung ging der Kornertrag zurück.

Ein statistisch gesicherter Ausgleich der Ertragseinbuße als Folge unzureichender N-Versorgung im Jugendstadium konnte weder durch die Nachdüngung mit 240 mg N/Gef. zu Blühbeginn noch durch die Blattapplikation während der reproduktiven Entwicklung erreicht werden. Bei einer Startdüngung von 240 mg N/Gef. ergab die Blattapplikation während der Kornfüllungsphase in Kombination mit der Nachdüngung zu Blühbeginn einen Mehrertrag von 16% im ersten und 40% im zweiten Versuchsjahr. Bezüglich der Zusammensetzung der Blattdünger wurde im Mittel beider Versuchsjahre bei der Kombination der Nachdüngung mit der Blattapplikation eine allgemein höhere Ertragswirksamkeit von Harnstoff gegenüber den Wuxal-Formulierungen festgestellt.

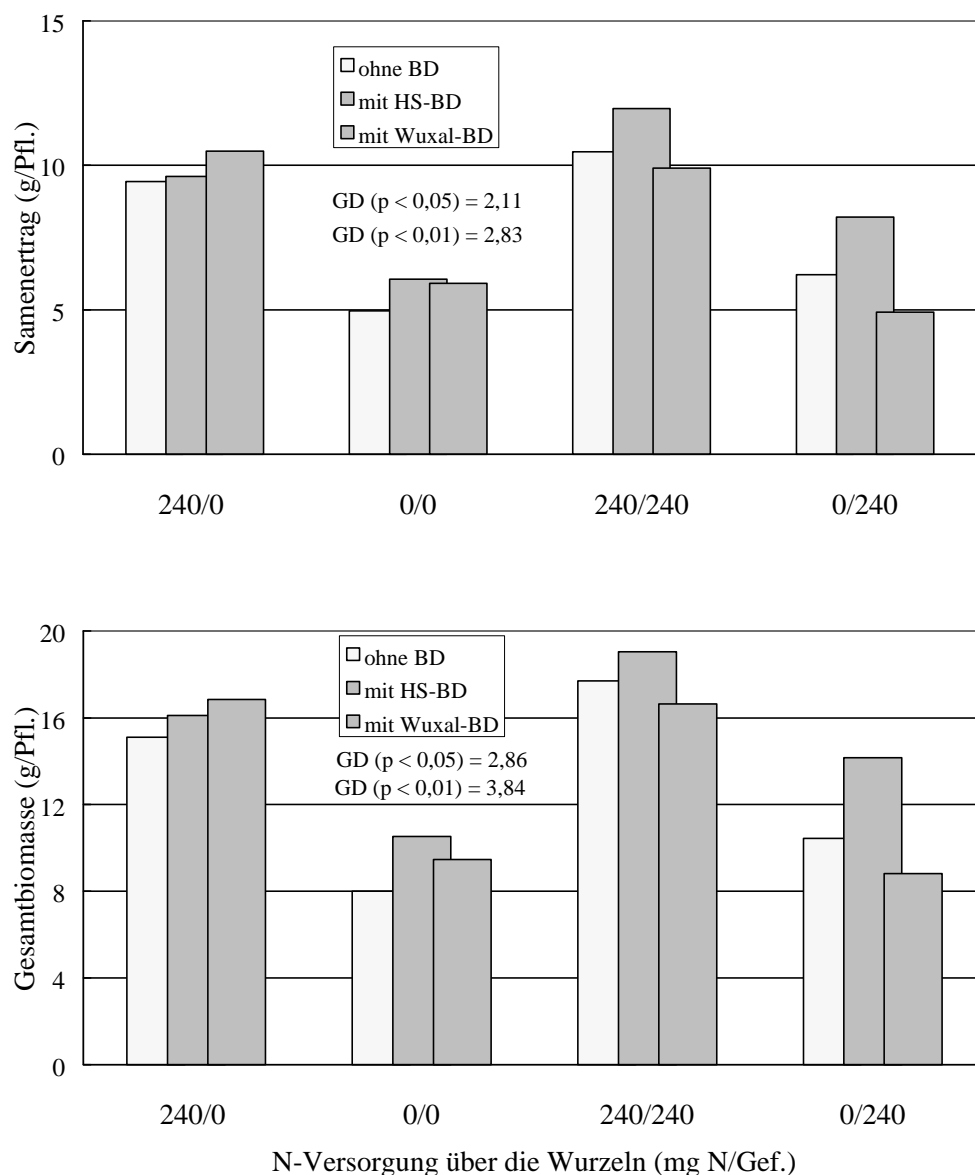


Abb. 25: Wirkung unterschiedlicher N-Düngung und der Blattapplikation auf den Samenertrag und die Gesamtbiomasse inokulierter Buschbohnenpflanzen.

Vom Blühbeginn an wurden die Pflanzen der Blattdüngungsvarianten je nach Variante alle 7 Tage mit Harnstoff (HS-BD) bzw. mit Wuxal Typ 6 und Wuxal SD 1168 (Wuxal-BD) behandelt.

Insgesamt wurden 4 Blattapplikationen durchgeführt.

Wie aus der Abbildung 25 hervorgeht, produzierten jene Pflanzen, die bis zum Eintritt in die generative Phase ihren N-Bedarf vorwiegend über die biologische N₂-Bindung decken mußten, ca. 50% weniger Gesamtbiomasse als die Kontrollpflanzen (*p* \leq 0,01). Diese Ertragsdaten (Kornertrag und gesamter TS-Ertrag/Pflanze) bestätigten das Ergebnis des Vorversuches und bekräftigen deutlich die Notwendigkeit der N-Düngung für die hier verwendete Buschbohnsensorte unter den gegebenen Versuchsbedingungen.

Die negativen Auswirkungen der N-Unterversorgung im Jugendstadium auf die gesamte Biomasseproduktion konnten weder durch die Nachdüngung zu Blühbeginn oder durch die Blattapplikation während der generativen Phase noch durch die Kombination beider Maßnahmen voll ausgeglichen werden. Bei einer Startdüngung von 240 mg N/Gef. führte die Kombination von Nachdüngung zu Blühbeginn mit Blattapplikation während der Kornfüllungsphase zu einem Mehrertrag von 10% bis 35%, der in der Mehrzahl der Fälle statistisch gesichert war. Hinsichtlich der Wirkung der Blattdünger auf die gesamte Biomasseproduktion erwies sich der Harnstoff in der Mehrzahl der Behandlungen den Wuxal-Düngern gegenüber als signifikant überlegen.

Harvest-Index

Die verschiedenen Behandlungen hatten keinen wesentlichen Einfluß auf die Höhe des Harvest-Index. Dieser schwankte in beiden Versuchsjahren zwischen 0,5 und 0,6. Bei allen Behandlungen wurden also im Durchschnitt 60% der von der Pflanze produzierten Trockensubstanz zur Bildung des Kornertrages verwendet.

5.2.3 *Samenqualität*

Zur Beurteilung der Wirkung der präventiv durchgeführten Blattdüngungsmaßnahmen auf die Qualität des Ernteproduktes wurden die Samen auf ihren Rohproteingehalt und ihre Nährstoffzusammensetzung untersucht. Der Rohproteingehalt der Samen wurde durch die Multiplikation des N-Gehaltes (Gesamtstickstoff nach KJELDAHL) mit dem Faktor 6,25 errechnet. Er lag im Durchschnitt bei 20% (± 3) und wurde durch die verschiedenen Behandlungen nur unwesentlich beeinflusst. Die Samen der im Sand angezogenen Pflanzen hatten einen um 3% bis 5% höheren Rohproteingehalt als die der Pflanzen, die im Boden wuchsen. Über die Nährstoffgehalte der Samen geben die Tabellen 33 bis 35 Auskunft.

Der P-, K- und Ca-Gehalt (Tab. 33) im Korn wurde bei Mg-Mangel während der generativen Phase deutlich erhöht.

Tab. 33: Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Samen von Buschbohne bei vermindertem Mg-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.

Behandlung	Nährstoffgehalt (mg/g TS)				Nährstoffgehalt (µg/g TS)			
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)	3,2	14,8	1,8	1,8	88	21,1	19,8	10,1
ohne Mg ¹⁾	3,7	16,3	2,9	1,4	141	44,7	27,0	14,8
ohne Mg mit präv. BD ²⁾ Wuxal SD 1525	3,5	14,7	2,5	1,5	107	32,5	19,9	11,7
Wuxal SD 1390	2,8	14,9	2,2	1,4	98	29,0	19,4	11,2
GD (p£ 0,05)	1,0	6,1	0,4	0,1	10	3,5	5,2	1,5
GD (p£ 0,01)	1,4	8,2	0,6	0,2	14	4,8	7,2	2,1

¹⁾Bis zu Blühbeginn wurde das Mg-Angebot auf 10% der Kontrolle reduziert.

²⁾Vom Blühbeginn an wurden die Mangelpflanzen alle 7 Tage mit Wuxal SD 1525 bzw. Wuxal SD 1390 behandelt. Insgesamt wurden jeweils 4 Blattapplikationen durchgeführt.

Aufgrund des durch die Mg-Unterversorgung der Pflanzen stark verminderten Kornertrages (siehe Abb. 20) ist der Anstieg der Makronährstoff-Konzentration in den Samen offensichtlich Ergebnis des Konzentrationseffektes und nicht als Ausdruck einer geförderten Akkumulation der Mineralstoffe im Korn anzusehen. Der Mg-Mangel während der reproduktiven Phase führte zu einer hochsignifikanten Abnahme sowohl des Mg-Gehaltes als auch der Mg-Akkumulation im Korn. Im Vergleich zur Kontrolle war die Blattapplikation ab Blühbeginn nicht mit einer Veränderung des P- und K-Gehaltes, wohl aber mit einem deutlichen (p£ 0,01) Anstieg der Ca-Konzentration in den Samen verbunden.

Diese erhöhte Akkumulation von Ca bei Mg-Mangel wird auch durch den Ca-Gesamtgehalt der Samen bestätigt. Letzterer liegt um mindestens 20% über dem der Kontrolle, obwohl beide Behandlungsvarianten eine Differenz im Kornertrag von nur 0,5 g Trockenmasse aufweisen. Dieser unwesentliche Ertragsunterschied schließt praktisch den Konzentrationseffekt als Ursache für den erhöhten Ca-Gesamtgehalt der Blattdüngungsvarianten aus und spricht für eine tatsächliche Ca-Akkumulation im Korn, wenn das Nährmedium Mg-arm ist.

Der Mg-Gehalt der Samen der mit Mg-Blattdüngern behandelten Pflanzen lag um 20% bis 25% unter dem der Kontrollpflanzen. Da die Ertragsdifferenz zwischen beiden Varianten zugunsten der Kontrolle nicht signifikant war, kann als gesichert angesehen werden, daß für die Mg-Einlagerung in die Samen die optimale Mg-Versorgung über die Wurzeln der Mg-Versorgung über das Blatt überlegen war. Die Leistung der durchgeführten Blattdüngung kann für die Anbaupraxis Bedeutung besitzen. So wurden der Kornertag und der Rohproteinertag je Pflanze durch die Blattapplikation gegenüber der Mg-Mangelvariante um jeweils 400% und 340% gesteigert. In ähnlichen Größenordnungen wurde die Menge an Magnesium erhöht, die im Vergleich zur Mangelvariante durch die Blattdüngung insgesamt in den Samen akkumuliert wurde.

Der Gehalt an Spurennährstoffen im Korn der Pflanzen, die während der reproduktiven Phase dem Mg-Mangel ausgesetzt waren, nahm zu. Aufgrund der Blattapplikation ging der Mikronährstoffgehalt der Samen wieder zurück. Im Vergleich zur Kontrolle wiesen die Samen der mit den Mg-Blattdüngern behandelten Mangelpflanzen einen allgemein höheren Spurennährstoffgehalt im Korn auf. Dies trifft insbesondere für Fe und Mn, aber auch für Cu zu.

In Verbindung mit dem Spurennährstoffmangel während der generativen Entwicklung stieg der Gehalt an Makro- und Mikronährstoffen im Korn deutlich ($p \leq 0,01$) an (Tab. 34). Angesichts des verminderten Samenertrages als Folge des unzureichenden Mikronährstoff-Angebotes während der generativen Phase ist diese Zunahme des Nährstoffgehaltes der Samen jedoch dem Konzentrationseffekt zuzuschreiben. In Verbindung mit der Blattapplikation war eine im Vergleich zur Mangelvariante deutliche Abnahme der Nährstoffkonzentration im Samen zu verzeichnen (Verdünnungseffekt).

Zwischen der Kontrolle und den Mangelvarianten mit Blattapplikation waren keine nennenswerte Unterschiede im Nährstoffgehalt der Samen festzustellen. Hiervon ausgenommen war Eisen, dessen Gehalt im Korn um ca. 20% unter dem der Kontrolle lag. Da der Kornertag beider Behandlungsvarianten gleich hoch war, bedeutet dies, daß die Pflanzen bei Mikronährstoffmangel während der Kornfüllungsphase trotz der Blattapplikation deutlich weniger Eisen in den Samen einlagerten als die Kontrollpflanzen.

Tab. 34: Wirkung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Samen von Buschbohne bei vermindertem Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln während der generativen Phase.

B e h a n d l u n g	Nährstoffgehalt (mg/g TS)				Nährstoffgehalt (µg/g TS)			
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
volle NL (Kontrolle)	3,2	14,8	1,8	1,8	88	21,1	19,8	10,1
ohne Mikro ¹⁾	4,4	16,1	2,1	2,1	116	24,2	33,1	16,3
ohne Mikro mit präv. BD ²⁾								
Wuxal SD 91543	3,0	15,1	1,80	2,0	70	24,5	22,3	10,4
Wuxal SD 91543+ 02% HS	3,8	14,8	1,8	1,9	67	24,3	21,5	11,5
GD (p£ 0,05)	1,0	6,1	0,4	0,1	10	3,5	5,2	1,5
GD (p£ 0,01)	1,4	8,2	0,6	0,2	14	4,8	7,2	2,1

¹⁾Bis zu Blühbeginn wurde das Mikronährstoffangebot auf 10% der Kontrolle reduziert.

²⁾vom Blühbeginn an wurden die Mangelpflanzen alle 7 Tage mit Wuxal SD 91543 bzw. Wuxal SD 91543 + 0,2% Harnstoff behandelt.

Insgesamt wurden jeweils 4 Blattapplikationen durchgeführt.

Bezüglich der Ertragsbildung und des Mineralstoff- und Rohproteingehaltes der Samen wiesen die Blattdünger sowohl Mg- als auch bei Mikronährstoffmangel keine Wirkungsunterschiede auf. Der Makronährstoffgehalt der Samen wurde durch die unterschiedliche N-Versorgung und die Blattapplikation nur geringfügig verändert (Tab. 35). Im Gegensatz dazu stieg der Mikronährstoffgehalt der Samen (mit Ausnahme von Zink) durch die Kombination von Nachdüngung zu Blühbeginn mit Blattapplikation während der Kornfüllungsphase hochsignifikant an. Besonders hervorzuheben ist die Mn-Konzentration der Samen, die um den Faktor 2 bis 4 erhöht wurde. Veränderungen in der Nährstoffzusammensetzung der Samen aufgrund der Zusammensetzung verwendeten Blattdünger wurden nicht festgestellt.

Tab. 35: Wirkung unterschiedlicher N-Düngung der Blattapplikation auf den Nährstoffgehalt der Samen inokulierter Buschbohnenpflanzen.

Behandlung	Nährstoffgehalt (mg/g TS)				Nährstoffgehalt (µg/g TS)			
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
240/0¹⁾ ohne BD	4,7	15,5	4,5	1,7	59,8	18,6	20,6	5,5
240/0 mit HS^{*)}	4,7	14,5	4,1	1,7	67,7	20,4	22,5	6,1
240/0 mit Wuxal^{*)}	4,2	14,6	3,7	1,6	52,5	18,4	17,5	7,5
0/0²⁾ ohne BD	4,9	15,3	4,4	1,6	57,0	16,7	20,0	5,7
0/0 mit HS^{*)}	4,4	14,6	3,6	1,7	58,6	18,6	21,8	6,6
0/0 mit Wuxal^{*)}	4,5	15,9	3,6	1,7	66,0	19,3	19,1	8,5
240/240³⁾ ohne BD	4,4	15,4	3,9	1,5	52,2	16,0	19,3	5,3
240/240 mit HS^{*)}	5,2	14,4	3,7	1,6	76,8	66,7	23,7	7,4
240/240 mit Wuxal^{*)}	4,7	14,8	4,0	1,7	62,8	56,2	22,2	9,7
0/240⁴⁾ ohne BD	4,7	16,0	4,1	1,7	59,3	15,8	25,3	7,1
0/240 mit HS^{*)}	4,9	14,6	3,8	1,6	71,8	73,7	24,2	7,6
0/240 mit Wuxal^{*)}	4,8	16,3	4,0	1,5	66,6	49,3	25,1	11,1
GD (p£ 0,05)	0,6	0,9	0,6	0,10	8,2	6,7	2,9	1,2
GD (p£ 0,01)	0,9	1,2	0,7	0,14	11,1	9,0	3,8	1,7

¹⁾240/0: Die Pflanzen erhielten nur eine N-Startdüngung von 240 mg N/Gef.

²⁾0/0: Die Pflanzen erhielten weder eine Startdüngung noch eine Nachdüngung.

³⁾240/240: Die Pflanzen erhielten sowohl eine N-Startdüngung als auch eine Nachdüngung zu Blühbeginn von jeweils 240 mg N/Gef.

⁴⁾0/240: Die Pflanzen erhielten eine Nachdüngung zu Blühbeginn von 240 mg N/Gef.

^{*)}Vom Blühbeginn an wurden die Pflanzen der Blattdüngungsvarianten je nach Variante alle 7 Tage mit Harnstoff (HS) bzw. mit Wuxal Typ 6 und Wuxal SD 1168 (Wuxal) behandelt. Insgesamt wurden 4 Blattapplikationen durchgeführt.

6 Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, sowohl in Kurz- als auch in Langzeitversuchen das Verhalten von *Phaseolus*-Bohnenpflanzen bei unzureichender Mg- und Mikronährstoffversorgung über die Wurzel gegenüber einer Nährstoffversorgung über das Blatt zu untersuchen. Ferner sollten neben Harnstoff zwei N-haltige Blattdünger auf ihre Wirksamkeit in Verbindung mit unterschiedlicher N-Gabe und der N₂-Fixierung geprüft werden. Im Vordergrund der Untersuchungen standen die Zusammensetzung der Produkte sowie der Zeitpunkt derer Ausbringung.

Sowohl in Kurzzeitversuchen unter kontrollierten Klimakammerbedingungen als auch bei den Langzeitversuchen in der Vegetationshalle ließen die konfektionierten Mg- und Mikronährstoff-Blattdünger-Formulierungen keine gesicherten Wirkungsunterschiede feststellen, obwohl deutliche Unterschiede im Nährstoffgehalt bestanden. Dies gilt sowohl für die erfaßten Parameter des vegetativen Wachstums und der Ertragsbildung als auch für die Nährstoffaufnahme und -verwertung. Die von der Anwesenheit von Stickstoff (10%) in dem einen Mg-Dünger (Wuxal SD 1390) gegenüber dem anderen (Wuxal SD 1525) erwartete positive Wirkung (ALEXANDER und SCHRÖDER, 1987) blieb aus. Auch beim Zusatz von Harnstoff zu dem Mikronährstoff-Blattdünger Wuxal SD 91543 war keine fördernde Wirkung zu erkennen, wie dies aus anderen Arbeiten berichtet wird (RUPPE, 1986; ALEXANDER und SCHRÖDER, 1987; RUPPE und PODLESÁK, 1992a).

Eine detaillierte Untersuchung der in der Literatur berichteten positiven Wirkung des Stickstoffes in Blattdünger-Formulierungen ließ sich aus Zeitgründen nicht realisieren. Schwerpunkt Diskussion der erzielten Ergebnisse wird deshalb der Zeitpunkt der durchgeführten Blattdüngungsmaßnahmen sein. Mit dem Zeitpunkt der Blattapplikation verbunden waren die Wirkung der über das Blatt aufgetragenen Düngermengen und die Abhängigkeit vom physiologischen Alter der Pflanzen.

6.1 Entwicklung von Mangelsymptomen und Wirkung der Blattapplikation

Ein sichtbares Symptom einer Ernährungsstörung ergibt sich aus vielen Mikrosymptomen, die auf eine Abweichung vom normalen Ablauf einzelner Stoffwechselvorgänge bzw. auf deren Ausfall zurückzuführen sind (BUSSLER, 1980). Bei der Erstellung der Diagnose von Ernährungsstörungen nach Symptomen ist jedoch große Sorgfalt geboten, da die Nährstoffe nicht unabhängig von anderen Wachstumsfaktoren wirken. Dies trifft vor allem für Feldbedingungen, insbesondere für extreme Standortbedingungen, zu, wo stärkere Wechselwirkungen zwischen Nährstoffmangel und anderen Standortfaktoren wie z. B. zu starker Sonneneinstrahlung, (OLSEN und BROWN, 1981; HORIGUCHI, 1988; MARSCHNER und CAKMAK, 1989; CAKMAK und MARSCHNER, 1992), Schädlingsbefall und Krankheitserregern (NIEGENDER und HECHT-BUCHHOLZ, 1983), Umweltgiften FISCHER, 1988; HAMPP, 1992), Salzbelastungen (DÖRING et al., 1979; DÖRING et al., 1984; ABD EL HADI et al., 1986; DÖRING und GERICKE, 1988; GERICKE, 1994) etc. zu erwarten sind als unter kontrollierten Versuchsbedingungen. Unter Umständen kann mehr als ein Nährstoff im Mangel sein und/oder der Mangel an einem Nährstoff gleichzeitig Überschuß an einem anderen hervorrufen. Als Beispiel hierfür sei auf das gleichzeitige Auftreten von Mn-Toxizität und Mg-Mangel auf sauren Böden bei Staunässe hingewiesen.

6.1.1 Mg-Mangelsymptome

Aufgrund der vielfältigen Funktionen des Magnesiums im Stoffwechsel der Pflanzen ist es nicht verwunderlich, daß eine Unterversorgung der Pflanzen mit diesem Nährstoff sich in charakteristischen Mangelsymptomen bemerkbar macht, mit Wachstumsstörungen verbunden ist und zu Ertragseinbußen führt. Am bekanntesten ist die Bedeutung des Mg als Zentralatom im Chlorophyll und seine direkte Beteiligung an der Photosynthese. Darüber hinaus kommen dem Magnesium weitere Aufgaben im zu. So ist Magnesium an mehr als 300 Enzymreaktionen beteiligt (KIRKBY und MENGEL, 1976).

Die enzymaktivierende Wirkung des Magnesiums beruht auf seiner Fähigkeit zur Chelatbildung mit organischen Molekülen. Magnesium greift in nahezu alle energieübertragenden und umformenden Phosphorylierungsprozesse ein. Das ist auf seine starke Affinität zu ADP und ATP sowie auf seine Eigenschaft, zwischen diesen Verbindungen und den Molekülen von Enzymen und Substraten eine die Reaktionsabläufe begünstigende chelatartige Brückenbindung herzustellen, zurückzuführen (BERGMANN, 1983). Eine weitere essentielle Funktion wird dem Magnesium als integrierendem Baustein von Ribosomen zugeschrieben. Bei Mg-Mangel fallen die Ribosomen in ihre Untereinheiten auseinander (KIRKBY und MENGEL, 1976) und die Proteinsynthese wird unterbrochen (MARSCHNER, 1986). Das könnte die Ursache sein für den niedrigeren Proteingehalt bei gleichzeitig höherem Gehalt an löslichen Aminosäuren bei Mg-Mangelpflanzen (MENGEL, 1992).

Die Symptome eines Mg-Mangels sind zwar von Pflanzenart zu Pflanzenart unterschiedlich, dennoch finden sich in der Literatur einige Merkmale, die für Mg-Mangel als charakteristisch beschrieben werden. Nach BERGMANN (1983) werden bei auftretendem Mg-Mangel in erster Linie die durch Mg^{2+} beeinflussten Enzymaktivitäten vermindert, ohne daß es jedoch plötzlich zu einem Zusammenbruch des Metabolismus kommt.

Aufgrund seiner Beweglichkeit in der Pflanze, kann Mg aus älteren Blättern zugunsten jüngerer, wachsender Organe sowie zugunsten der Samen und Früchte transportiert werden, wenn es aus dem Nährmedium nicht in genügenden Mengen nachgeliefert wird (BUSSLER, 1970). Durch diese Mg-Auslagerung aus den älteren Blättern kommt es zur Chlorophyllzerstörung mit nachfolgender Aufhellung der älteren Blätter im Interkostalbereich. Bei anhaltendem Mangel werden diese sog. Interkostalchlorosen immer größer und erfassen schließlich das gesamte Blatt. Nach BUSSLER (1970) werden die Mg-Ionen bei ihrer Wanderung aus der Blattspreite zu den Adern immer wieder in den Stoffwechsel einbezogen, so daß die Blattadern und die den Adern entlang führenden Blattgewebe über längere Zeit grün bleiben. Nach völliger Chlorophyllzerstörung wird die Kohlenhydratsynthese eingestellt und die Zellen des heterotrophen Gewebes sterben ab.

Als Endstadium des Mg-Mangels kommt es zur Bildung brauner bis dunkelbrauner Bezirke (Nekrosen) innerhalb des chlorotischen Blattgewebes (BERGMANN, 1983). Diese Entwicklung der Mg-Mangelsymptome gilt für die Blätter vieler Dikotyledonen als charakteristisch.

Die in der vorliegenden Arbeit beobachteten Mangelsymptome weichen teilweise von den Beschreibungen der Mg-Mangelsymptome in der Literatur ab und zeigen damit die Problematik einer generellen Übertragbarkeit der Symptomausprägung von Nährstoffmangel. Als Zeichen des Mg-Mangels traten bei absolutem Mg-Mangel im Jugendstadium (Klimakammerversuche) zunächst Nekrosen in den Interkostalfeldern jüngerer Blätter auf. Die Pflanzen starben dann allmählich von oben nach unten ab. Bei unzureichender Mg-Versorgung aber nicht absolutem Mg-Mangel (10% der Mg-Gabe der Kontrolle) bildete sich eine Interkostalchlorose als Mg-Mangelsymptom aus. Auch hier trat sie jedoch im oberen Bereich der Pflanze, also mehr an jüngeren als an älteren Blättern auf.

Ähnlich verhielten sich die Mg-Mangelpflanzen bei Langzeitversuchen in der Vegetationshalle hinsichtlich der Ausbildung von Mg-Mangelsymptomen. Letztere wurden als punktförmige Interkostalchlorosen zunächst an oberen Blättern sichtbar, bevor sie in braune Nekrosen übergingen. Bei unzureichender Mg-Nachlieferung aus dem Nährmedium wird das Magnesium offensichtlich nicht unbedingt aus den älteren und ältesten Blättern entzogen, wie das in der Literatur beschrieben ist. Vielmehr wird das Magnesium aus jenen Blättern verlagert, die zur Zeit des Mangels voll entfaltet sind und den jüngeren Blättern sowie den Hülsen am nächsten stehen und demzufolge als Mg-source dienen. Dementsprechend treten die ersten Mg-Mangelsymptome an diesen und nicht an den ältesten Blättern auf. Unsere Befunde bestätigten frühere Beobachtungen von BUCHER (1979).

Aus Untersuchungen an der Rebe berichtet der Autor, daß bei Mg-Mangel im Nährsubstrat zur Zeit des Trauben- bzw. Beerenwachstums die Fehlmenge aus den der Traube am nächsten stehenden Rebenblättern entzogen wird. Die Blätter um die Traube zeigen dann Mangelsymptome, während Blätter an den Triebenden noch gesund sind.

Die Deutung der Entwicklung von Nekrosen anstelle von Chlorosen als erste Zeichen des Mg-Mangels in Abweichung von Angaben aus der Literatur war zunächst nicht unproblematisch. Als Ursache dafür wird die Photooxydation, "eine licht- und O₂-abhängige Zerstörung der photosynthetischen Pigmente" aufgrund der Mg-Unterversorgung, vermutet (POWLES, 1984). Dem Autor zufolge schließt die Licht- und O₂-Abhängigkeit der Photooxydation die Möglichkeit ein, daß im Zuge der Lichtreaktionen der Photosynthese Energie auf den molekularen Sauerstoff übertragen wird, wodurch es zur Bildung einer oder mehrerer potentiell toxischen Sauerstoffradikale kommt, welche die biologischen Membransysteme zerstören.

Die Bildung dieser toxisch wirkenden Sauerstoffradikale in Chloroplasten ist ein normaler, unvermeidlicher Vorgang (POWLES, 1984; MARSCHNER, 1992; SGHERRI et al., 1993). Deshalb sind die Zellen mit Schutzmechanismen ausgestattet, die diese toxischen Sauerstoffverbindungen beseitigen. Bei diesen Desintoxikationssystemen spielen Ascorbat und Glutathion eine besondere Rolle (MARSCHNER, 1992; CAKMAK und MARSCHNER, 1992; MAY und LEAVER, 1993; SGHERRI et al., 1993). Verschiedenen Angaben zufolge befinden sich 30% bis 40% des Ascorbat und 10% bis 50% des Glutathion der Zelle im Chloroplast, obwohl dieses Organell nur 3% bis 4% des Zellvolumens ausmacht (WIESE und NAYLOR, 1987).

Unter Streßbedingungen wie z.B. bei zu niedrigen bzw. zu hohen Temperaturen (POWLES, 1984); bei Wassermangel (DHINDSA und MATOWE, 1981; SGHERRI et al., 1993); bei Luftverunreinigungen (LEE und BENNET, 1982; GURI, 1983; MADAMANCHI und ALSCHER, 1991) oder unter Salzbelastung (HERNANDEZ et al., 1993), kommt es aufgrund der dadurch bedingten verminderten Verwertung der absorbierten Energie zur erhöhten Bildung von Sauerstoffradikalen. Das Übersteigen der Desintoxikationskapazität der Zelle führt zur Photooxydation der Chloroplastenpigmente. Das gleiche tritt auf, wenn Pflanzen bei hoher Lichteinstrahlung einem Nährstoffmangel, wie z. B. bei Zink-, Kalium- oder Magnesium-Mangel, ausgesetzt sind (CAKMAK, 1987; MARSCHNER und CAKMAK, 1989; MARSCHNER, 1992; MARSCHNER und CAKMAK, 1992).

Ein entscheidender Faktor für die Überwindung eines oxidativen Stresses ist die Geschwindigkeit, mit der die Pflanzen ihre Antioxidanzienreserven mobilisieren können (LEE und BENNET, 1982; GURI, 1983; MADAMANCHI und ALSCHER, 1991). Hierin sollen nach MARSCHNER und CAKMAK (1992) die Unterschiede zwischen den Pflanzenarten hinsichtlich der Symptomausprägung bzw. der Symptommgrenzwerte bei unzureichender Nährstoffversorgung ihre Erklärung finden.

Bei Mg-Mangel wird nicht nur die Photosynthese negativ beeinflusst, sondern auch der Abtransport der Syntheseprodukte beeinträchtigt (BARKER, 1979; MARSCHNER, 1986; FISCHER, 1988; MARSCHNER, 1992; FISCHER und BREMER, 1993; CAKMAK et al., 1994; MEHNE-JAKOBS, 1995; FISCHER, 1996). So stellten CAKMAK et al. (1994) beispielsweise fest, daß im Vergleich zur optimalen Nährstoffversorgung der Assimilattransport aus dem Syntheseort in die Sinkorgane bei Mg-Mangel um 80% bis 90% zurückgeht. Durch eine erneute Mg-Gabe zu den Mangelpflanzen erreichten diese die Rate des Assimilatexports der Kontrolle innerhalb von 24 bis 48 Stunden.

Dieser Befund macht die Bedeutung des Magnesiums für die Phloemladung und den Abtransport der Photosyntheseprodukte aus den Sourceorganen zugunsten der Sinkorgane deutlich. Es ist anzunehmen, daß über die Photooxidationshypothese hinaus die durch den Mg-Mangel bedingte Zucker- und Aminosäurenakkumulation in den Sinkblättern zur Schädigung des Blattgewebes führt und für die Bildung von Nekrosen als ersten Zeichen unzureichender Mg-Versorgung der Pflanzen mitverantwortlich ist.

Während des vegetativen Wachstums wurde die Blattflächenentwicklung am stärksten von einer Mg-Unterversorgung der Pflanzen betroffen.. Nach BOUMA et al. (1979) wird die Blattflächenentwicklung durch die Mg-Unterversorgung stärker negativ beeinflusst als die photosynthetische Aktivität. Dieser Befund wurde auch durch die Untersuchungen von CAO und TIBBITTS (1992) sowie von FISCHER und BREMER (1993) bestätigt. Die Zellteilung und die Zellstreckung, welche für die Blattflächenentwicklung den Ausschlag geben, sind gegenüber unzureichender Kohlenhydratzufuhr höchst empfindlich (KRIEDEMANN, 1986; DAHLE, 1988).

Da bei Mg-Mangel nicht nur die Proteinsynthese gestört ist, sondern auch der Abtransport der Assimilate gehemmt wird, ist es nicht verwunderlich, daß sich eine unzureichende Mg-Versorgung der Pflanzen im Jugendstadium besonders auf das Blattwachstum bemerkbar macht. Das ist um so verständlicher, als jüngere Blätter auf den Assimilatimport angewiesen sind, bis sie etwa 50% ihrer endgültigen Größe erreicht haben (HILL, 1980).

In den vorliegenden Untersuchungen starben die Pflanzen der Mg-Mangelvariante in der Klimakammer von der Spitze her abwärts ab. Die älteren und vor allem die ältesten Blätter waren bis zum Versuchsende noch intakt. Das scheint darauf hinzudeuten, daß das Magnesium aus den älteren Blättern nicht schnell genug mobilisiert und zu dem Ort mit hohem Mg-Bedarf transportiert werden konnte. Offenbar führte das Auftreten von Nekrosen an jüngeren Blättern als erste Symptome des Mg-Mangels dazu, daß diese Organe sowie die Sproßvegetationspunkte sich als Sinkorgane nicht mehr weiter entwickeln konnten. Daraus ergab sich auch kein Bedarf mehr für Assimilate und Nährstoffe. Aufgrund dieser eingeschränkten "sink-Aktivität", d. h. der Attraktionskapazität für die gebildeten Assimilate (BARKER, 1979; STOY, 1979) wird offensichtlich, daß keine Nährstoffverlagerung erfolgen kann.

Mit der Blattapplikation konnte eine ausreichende Mg-Versorgung der Pflanzen gewährleistet werden, wenn sie präventiv vorgenommen wurde. Daher wurde auch die Ausbildung von Mangelsymptomen verhindert bzw. verzögert. Da bei Mg-Mangel die ersten Symptome in Form von Nekrosen auftraten, hielt sich die Wirkung kurativer Blattdüngungsmaßnahmen erwartungsgemäß in Grenzen. Nur die nach Beginn der Behandlung gebildeten Blätter konnten vor dem Mangel geschützt werden. Hiermit wird erneut bestätigt, daß für die Wirksamkeit von Blattdüngungsmaßnahmen die rechtzeitige Anwendung die Voraussetzung ist.

Bei Langzeitversuchen in der Vegetationshalle entwickelten die Pflanzen trotz der präventiven Blattdüngung starke Mg-Mangelsymptome, was sicher auf den hohen Nährstoffbedarf während der generativen Entwicklung zurückzuführen ist.

In diesem Zusammenhang berichtet auch SPARKS (1986a,b) aus Hydrokulturversuchen mit *Pecan*-Sämlingen über Schwierigkeiten, durch Anwendung einer relativ hochkonzentrierten KH_2PO_4 - bzw. MgSO_4 - Lösung⁶ bei P- resp. Mg-Mangel die Entwicklung von P- bzw. Mg-Mangelsymptomen zu verhindern. Wird in den vorliegenden Untersuchungen der Samenertrag als Bezugsgröße zugrundegelegt, dann sind die durchgeführten Blattdüngungsmaßnahmen als höchst effizient zu betrachten. Dadurch konnte ein signifikanter Rückgang des Kornertrages verhindert werden (die Ertragsdifferenz lag unter 10%). Insofern sind die während der Kornfüllungsphase in Erscheinung getretenen Mg-Mangelsymptome als Ergebnis notwendiger Umlagerungsprozesse zugunsten der reproduktiven Organe zu verstehen. Sie sind deshalb, im Gegensatz zu denen aus den Untersuchungen von SPARKS (1986a,b), von untergeordneter Bedeutung.

6.1.2 Mikronährstoff-Mangelsymptome

Die *Phaseolus*-Bohne gilt als eine gegenüber Zn-Mangel empfindliche Pflanze (VIETS et al., 1954), eine Erkenntnis, die durch neuere Ergebnisse immer wieder bestätigt wird (LUYINDULA, 1988; ANONYM, 1990). Sie gehört aber auch zu den Kulturpflanzen, die auf den Fe-Mangel empfindlich reagieren, wobei für die Ausprägung der Mangelsymptome Wechselwirkungen zwischen genetischen Unterschieden und Standortbedingungen eine große Rolle spielen (ZAITER et al., 1988). Obwohl die meisten Böden einen hohen Fe-Gehalt aufweisen (1% bis 4%), ist der Fe-Mangel ein weltweit stark verbreitetes Problem. Dies trifft vor allem für Carbonatböden und saline Standorte zu (MENGEL und GEURTZEN, 1986; MORTVEDT, 1991; MENGEL, 1994a; MODAIHSH, 1997; YILMAZ et al., 1997;).

Als Ursache dafür ist die niedrige Löslichkeit der meisten Fe-Verbindungen, insbesondere der Fe-Oxide/Hydroxide, die bekanntlich mit steigendem pH-Wert absinkt. Nach MORTVEDT (1991) erreichen anorganische Fe-Verbindungen beim pH-Wert zwischen 7,0 und 8,5 ihre minimale Löslichkeit. In diesem pH-Bereich soll die Fe-Konzentration in der Bodenlösung bestenfalls 10% des Fe-Bedarfes der Pflanzen decken.

⁶ Die verwendeten Spritzlösungen hatten folgende Nährstoffkonzentration: bei P-Mangel (0%, 0,5%, 0,75%, 1,00% P aus KH_2PO_4 und bei Mg-Mangel (0%, 0,24%, 0,48% und 0,96% Mg aus $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Bei unzureichender Fe-Versorgung erfahren die Wurzeln sog. Fe-effizienter Pflanzen eine Reihe von Veränderungen morphologischer und physiologischer Natur, welche eine Verbesserung der Fe-Versorgung herbeiführen. Sie sind unter den Begriffen Strategie I und Strategie II der Fe-Effizienz zusammengefaßt. Zu den morphologischen Veränderungen gehören eine vermehrte Wurzelhaarbildung, eine Schwellung der Wurzelspitze und die Bildung sog. Transferzellen (LANDSBERG, 1982; LANDSBERG, 1984; KANNAN, 1988; LANDSBERG, 1994; MANTHEY und CROWLEY, 1997).

Physiologisch reagieren Fe-effiziente dikotyle Pflanzen mit einer verstärkten H^+ -Ausscheidung und somit einer Absenkung des pH-Wertes im Nährmedium, der Erhöhung der Fe^{3+} -Reduktion durch verstärkte Abgabe von Verbindungen mit reduzierenden Eigenschaften (Phenole) sowie der Bildung und Akkumulation von organischen Säuren (vor allem Zitronensäure) in den Wurzeln (SCHERER und HÖFNER, 1980a,b; LANDSBERG, 1981; BIENFAIT et al. 1987; BROWN und JOLLEY, 1988; KANNAN, 1988; MAAS et al., 1988; TREEBY et al., 1989; WHITE und ROBSON, 1989; ZOCCHI und COCUCCHI, 1990; FOURNIER et al., 1992; ROMERA et al., 1992; BIENFAIT, 1996; JOLLY et al., 1996; MANTHEY und CROWLEY, 1997).

Während für die meisten dikotylen Pflanzen die Protonenausscheidung und die Erhöhung der Reduktionskapazität der Wurzeln als wesentliche Merkmale der "Strategie I" in Betracht kommen, wird die Fe-Mobilisierung bei den Graminaen durch die "Strategie II" bewerkstelligt. Hierbei werden von den Wurzelspitzen die sog. Phytosiderophoren ausgeschieden, welche die Fähigkeit besitzen, Eisen zu binden.

Nach neueren Untersuchungen wird auch die Zn-Aufnahme von Fe- und Zn-effizienten Pflanzen durch die Abgabe von Phytosiderophoren in das Nährmedium wesentlich verbessert (CAKMAK et al., 1995c; WIREN et al., 1995; ZHANG et al., 1995; CAKMAK et al., 1996). Über einen aktiven Transportmechanismus wird der Fe^{3+} -Phytosiderophorenkomplex durch das Plasmalemma in das Cytoplasma aufgenommen (MARSCHNER und RÖMHELD, 1994; WIREN et al., 1995; JOLLY et al., 1996). Wird den Mangelpflanzen Eisen wieder zugegeben, sei es über die Wurzeln oder in Form der Blattapplikation, lassen die o. g. "Fe-Effizienz"-Reaktionen allmählich nach oder kommen gänzlich zum Stillstand (MAAS et al., 1988; ROMERA et al., 1992).

Da in der vorliegenden Arbeit der Stickstoff in Nitratform angeboten wurde, wäre bei Fe-Mangel mit einer Senkung des pH-Wertes der Nährlösung zu rechnen. Tatsächlich aber stieg der pH-Wert der Fe-freien Nährlösung um fast eine pH-Einheit an, während bei der Vollversorgung erwartungsgemäß eine Alkalinisierung der Nährlösung eintrat (der pH-Wert stieg um ca. 2 Einheiten von 5,2 auf 7,0 an). Auch die anderen Merkmale der Fe-Effizienz wie verstärkte Wurzelhaarbildung und Schwellung der Wurzelspitzen (LANDSBERG, 1982; KANNAN, 1988) waren nicht besonders ausgeprägt. Die Frage, ob die verwendete Bohnensorte als "nicht Fe-effizient" einzustufen wäre, kann aufgrund unserer Beobachtungen nicht beantwortet werden und war auch nicht Gegenstand der Arbeit. Als sicher gilt aber, daß die Eigenschaft "Fe-Effizienz" im Sinne der oben beschriebenen Merkmale nicht bei allen Pflanzenarten und selbst innerhalb einer Art nicht bei allen Sorten erwartet werden kann (vgl. z. B. EGMOND und AKTAS, 1977; JOLLEY et al., 1986; JOLLEY und BROWN, 1991; TREEBY und UREN, 1992; JOLLEY et al., 1996).

Im Stoffwechsel der Pflanzen spielt Eisen als Bestandteil von Wirkungsgruppen verschiedener Enzyme eine große Rolle. Hierzu zählen vor allem die Hämproteide wie Cytochrome, Peroxidase, Katalase sowie Nichthämeisenproteine wie Ferredoxine. Aufgrund seiner Fähigkeit zum Valenzwechsel kommt dem Eisen vor allem bei lichtabhängigen Reaktionen, im Energiestoffwechsel und in der Atmungskette, als Elektronenüberträger eine besondere Bedeutung zu (BERGMANN, 1983). Dem Autor zufolge führt der Fe-Mangel beispielsweise zu einer Verminderung der Atmung und damit zu einer Abnahme der für die Synthese- und Wachstumsprozesse benötigten Energie. Eisen wird in Form von Fe-Citrat in der Pflanze transportiert und in Form von Ferritin im Stroma von Plastiden bzw. Chloroplasten gespeichert (MENGEL, 1992).

Der größte Teil des gesamten Eisengehaltes der Blätter (bis zu 80%) ist in den Chloroplasten lokalisiert. Bei Fe-Mangel treten strukturelle Veränderungen der Chloroplasten auf (WHATLEY, 1971; PUSHNIK und MILLER, 1982). Zu diesen Veränderungen gehören eine Verminderung von Zahl und Größe der Grana (TERRY, 1980; SPILLER und TERRY, 1980), eine Schwellung der Membranen und eine allgemeine Desorganisation der Thylakoidanordnung (TERRY und ABADIA, 1986) sowie eine Veränderung der Zusammensetzung in der Thylakoidmembran.

Chloroplasten aus den Blättern von Fe-Mangelpflanzen weisen einen verminderten Gehalt an Proteinen (PERUR et al., 1961; SHETTY und MILLER, 1966; PUSHNIK und MILLER, 1982) bzw. Lipiden (ABADIA et al., 1988; MONGO et al., 1993) auf. Die Fe-Chlorose wird auf eine Verminderung des Chlorophyllgehaltes der Blätter zurückgeführt, der selbst auf eine Störung der Chlorophyllsynthese zurückgeht. In dem Chlorophyllsyntheseweg gibt es verschiedene Schritte, die Eisen erfordern (PUSHNIK et al., 1984). Dabei scheint die Synthese der Aminolävulinsäure, einer Vorstufe des Chlorophylls, durch den Fe-Mangel besonders stark beeinträchtigt zu sein (MILLER et al., 1982).

Dem Fe-Mangel wird mit unterschiedlichen Verfahren begegnet. MORTVEDT (1991) und WALLACE (1992) haben die in den letzten Jahren gesammelten Erfahrungen auf dem Gebiet der Bekämpfung der Fe-Chlorose zusammengefaßt. Neben den Meliorationsmaßnahmen, die vor allem auf die Senkung des pH-Wertes des Bodens und die Verbesserung der Bodenstruktur abzielen, wie z. B. die Zufuhr von elementarem Schwefel bzw. Gips (SAHU und SINGH, 1987) und die Düngung mit organischer Substanz (MENGEL, 1992), werden verschiedene Fe-Verbindungen über den Boden oder in Form der Blattapplikation eingesetzt.

Unabhängig von der Zusammensetzung der Fe-Dünger ist die Bodendüngung im allgemeinen wenig effektiv, da bei hohen pH-Werten des Bodens das Eisen in nicht pflanzenverfügbare Form überführt wird (MORTVEDT, 1986; WALLACE, 1991). Selbst beim Einsatz von Fe-Chelaten, die aber aufgrund der hohen Preise in erster Linie für cash crops verwendet werden (WALLACE, 1992; PAPASTYLIANOU, 1993), wird das Fe von anderen Kationen wie Ca, Mn, Zn und vor allem Cu aus seinen Trägern leicht verdrängt (LUCENA et al., 1986; MA und NOMOTO, 1993), wodurch es ebenfalls von den Pflanzen nicht mehr aufgenommen werden kann. Um diese Störfaktoren des Bodens zu umgehen, wird bei der Bekämpfung des Fe-Mangels die Fe-Zufuhr in Form der Blattapplikation empfohlen. Bei einer Fe-Zufuhr als Bodendüngung oder mittels der Blattapplikation kommt es zur Regenerierung der Chloroplastenstrukturen und die Chlorophyllsynthese wird wieder in Gang gesetzt. Dies findet seinen Ausdruck in einer Wiederergrünung der Pflanzen (KAUR et al., 1984; PUSHNIK et al., 1984; SHARMA und KANWAR, 1985; ZAITER et al., 1993).

Wie aus unterschiedlichen Quellen (PLATT-ALOIA et al., 1983; HECHT-BUCHHOLZ und ORTMANN, 1986; REED, 1988; REED et al., 1988) hervorgeht, bleibt eine Wiederergrünung der Fe-Mangelpflanzen als visueller Effizienzindikator für die durchgeführten Behandlungen jedoch oft aus. So hatten beispielsweise dem Fe-Mangel ausgesetzte Zuckerrübenpflanzen mehr als 40 Stunden nach einer Fe-Zufuhr 70% weniger Chlorophyll als die Kontrollpflanzen und die Ultrastrukturen ihrer Chloroplasten waren noch unterentwickelt (PLATT-ALOIA et al., 1983). Auch HECHT-BUCHHOLZ und ORTMANN (1986) berichten aus ihren Untersuchungen an Soja, daß sieben Tage nach einer Blattapplikation verschiedener Fe-Formulierungen die Chloroplasten der behandelten Mangelpflanzen zwar in ihrer Gestalt denen der optimal versorgten Pflanzen ähnelten, daß sie aber eine verminderte Anzahl Thylakoidstapel je Granum aufwiesen. Ihr Chlorophyllgehalt war bestenfalls um 50% niedriger als der der Kontrollpflanzen. Als Ursache für das Fortbestehen der Fe-Mangelchlorose trotz Fe-Zufuhr wurde eine unvollständige Regenerierung der Chloroplasten als Organ der Chlorophyllsynthese vermutet.

Ähnlich wie bei den oben aufgeführten Erfahrungen wurde in der vorliegenden Arbeit mit den durchgeführten Blattdüngungsmaßnahmen bei Fe-Mangel kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt. Zwar war eine Wiederergrünung der chlorotischen Blätter aufgrund der Blattapplikation zu verzeichnen, eine völlige Wiederherstellung der Pflanzengesundheit wurde jedoch nicht erreicht. Die Frage, ob die geprüften Fe-Blattdünger möglicherweise zu wenig Eisen enthalten, um den Bedarf der Pflanzen unter unseren Versuchsbedingungen decken zu können, muß ohne weitere Untersuchungen offen bleiben. Da bei der Behandlung mit Fetrilon (Daten nicht gezeigt), einem gegen Fe-Mangel sonst wirksamen Mittel, die Fe-Mangelpflanzen auch Fe-Chlorosen ausbildeten, liegt die Vermutung nahe, daß durch den Fe-Mangel Stoffwechselvorgänge induziert wurden, die möglicherweise die Verfügbarkeit des mit den verwendeten Fe-Formulierungen zugeführten Eisen vermindert haben.

Denkbar sind hierbei negative Wechselwirkungen zwischen dem Fe und seinen Antagonisten Mn, Zn und Cu, zumal die Mn- und Zn-Konzentration um den Faktor 2,4 höher war als die von Fe. Ihre Konzentration im Blatt wurde durch den Fe-Mangel bereits erheblich gesteigert und durch die Behandlung der Fe-Mangelpflanzen mit dem Multielement-Blattdünger sogar fast um den Faktor 5 erhöht.

Der ermittelte Mn-Gehalt von über 160 µg/g TS (gegenüber dem der Kontrolle von nur 30 bis 40 µg/g TS) liegt zwar weit von der für Buschbohne als toxisch anzusehenden Mn-Konzentration im Blatt von 500 µg/g TS (SCHWARTZ et al., 1978 zit. nach GILLER et al., 1992) entfernt, daß aber Mangan aufgrund seines hohen Redoxpotentials das physiologisch aktive Fe^{2+} zu Fe^{3+} aufoxidiert haben könnte (SOMMER und SCHIEVE, 1942 zit. nach AMBERGER, 1973), kann bei dieser hohen Mn-Konzentration im Blatt nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Darüber hinaus kommt der Bindungsform des angebotenen Stickstoffes eine besondere Bedeutung zu. Bei einer vorwiegenden NO_3^- -Ernährung werden zum Ausgleich der im Überschuß aufgenommenen Anionen verstärkt OH^- oder HCO_3^- Ionen ausgeschieden. Dies führt zu einem Anstieg des pH-Wertes im Nährmedium. Bei der NH_4^+ -Ernährung werden Kationen bevorzugt aufgenommen, was zu einer Senkung des pH-Wertes im Nährmedium zur Folge hat (KIRKBY und MENGEL, 1967; LANDSBERG, 1982; MENGEL und STEFFENS, 1982; BEUSICHEM et al., 1988; ALLOUSH et al., 1990). Die NO_3^- -Ernährung der Pflanzen führt also zu einem Anstieg des pH-Wertes im Apoplast der Wurzeln, die bei hohen P-Konzentrationen eine Ausfällung von Fe-Verbindungen nach sich ziehen kann (BIENFAIT und STEFFERS, 1992).

Der Anstieg des pH-Wertes ist aber nicht auf die Wurzeln beschränkt, er findet auch im Apoplast der Blattzellen statt (KOLESCH et al., 1984), ein Befund, der durch Untersuchungen von MENGEL und GEURTZEN (1988) an Maispflanzen bestätigt wurde. Sie stellten fest, daß bei einer ausschließlichen NO_3^- -Ernährung der Pflanzen die verschiedenen Fraktionen eine erhöhte Alkalinität aufwiesen, die mit einem pH-Anstieg in Beziehung stand.

Allein die Umstellung der N-Ernährung von NO_3^- auf NH_4^+ ohne Fe-Zufuhr bewirkte ein Wiederergrünen der Pflanzen. Letzteres ging mit einer Abnahme sowohl der Alkalinität, als auch des pH-Wertes der verschiedenen Pflanzenteile einschließlich der Blätter, einher. Darüber hinaus führte die Behandlung zu einer Abnahme des Fe-Gehaltes in den Wurzeln und zu einer Zunahme des Fe-Gehaltes in den Stengeln und Blättern. Einen ähnlichen Effekt erzielten die beiden Autoren durch den Transfer der Mangelpflanzen von der NO_3^- -haltigen Nährlösung in eine verdünnte HCl-Lösung (pH 3,5) ohne zusätzliche Fe-Zugabe (MENGEL und GEURTZEN, 1988).

Interessant ist auch ein anderer Aspekt der Befunde von MENGEL und GEURTZEN (1988) sowie von MENGEL (1994a). Durch eine Blattapplikation der chlorotischen NO_3 -ernährten Pflanzen mit Indolessigsäure und Fusiccosin konnte eine Zunahme des Chlorophyllgehaltes der Blätter und ein Wiederergrünen der Pflanzen erzielt werden, ohne jedoch den Fe-Gehalt zu beeinflussen. Über die positive Wirkung derartiger Maßnahmen wurde in der Literatur berichtet (SAMISCH, 1954). Sie ist darauf zurückzuführen, daß beide Substanzen die Aktivität der im Plasmalemma lokalisierten ATPase stimulieren (HAGER et al., 1971; SCHUBERT und MATZKE, 1985), welche die Protonen aus dem Cytoplasma in den Apoplast pumpt und deren maximale Aktivität bei pH 5 bis 6,5 liegt (BIENFAIT et al., 1982; MENGEL, 1994a).

Der hier herrschende pH-Wert hat einen entscheidenden Einfluß auf die Verteilung des Eisens innerhalb des Blattes. Hohe HCO_3^- -Konzentrationen verhindern den Fe-Transport aus den Blattadern in die Interkostalgewebe (MENGEL und BÜBL, 1983). Bei pH-Werten über 8,5 soll kein Fe-Transport mehr innerhalb des Blattes stattfinden (ANONYM, 1990). Damit wird deutlich, daß das möglicherweise im free space ausgefällte Eisen, in Abhängigkeit vom pH-Wert, welcher unter anderem mit der N-Ernährungsform in Beziehung steht, bei Fe-effizienten Pflanzen wieder verfügbar gemacht werden kann (ANONYM, 1990; ZHANG et al., 1991; BIENFAIT und SCHEFFERS, 1992; BIENFAIT, 1996; MORALES et al., 1998).

Aufgrund dieser Erkenntnisse sind für die unbefriedigende Wirkung der Blattapplikation, neben einer eventuell unzureichenden Fe-Menge, physiologische Vorgänge mitverantwortlich, die im Zusammenhang mit der NO_3 -Ernährung das noch verfügbare Eisen für den Stoffwechsel unwirksam machen (BIENFAIT und SCHEFFERS, 1992). Für die Praxis bedeutet dies, daß auf Standorten, die zur Ausbildung der Fe-Chlorose neigen, der Anbau Fe-effizienter Pflanzenarten bzw. Sorten bessere Chancen bietet, Ertragseinbussen und/oder Qualitätsminderungen als Folgen des Fe-Mangels zu vermeiden. Auf die meliorativen Kulturmaßnahmen wurde bereits an einer anderen Stelle verwiesen. Bezüglich der N-Düngung könnte anstelle der NO_3 -Düngung eine vorwiegende NH_4 -Ernährung der Pflanzen angestrebt werden.

Durch die Anwendung von physiologisch sauer wirkenden N-Düngern wie z. B. Ammoniumsulfat statt Kalziumnitrat kann über die Senkung des pH-Wertes in der Rhizosphäre die Verfügbarkeit von Fe und anderen Spurenelementen wie Mn und Zn verbessert und das Auftreten von Nährstoffmangel verhindert bzw. verzögert werden (SCHNUG und FINCK, 1980; SARKAR und WYN JONES, 1982; VAAST und ZASOSKI, 1992). Mit dem Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren in Verbindung mit NH_4 -haltigen N-Düngern kann die mikrobielle Umwandlung von NH_4^+ in NO_3^- verzögert oder gar verhindert werden (MAIBAUM und BELLMANN, 1987; SISWORO et al., 1990). Auf diese Weise kann über die Verringerung der NO_3 -Auswaschungsverluste hinaus ein Beitrag zur Verminderung der Gefahr des Auftretens von Fe-Chlorosen geleistet werden (WALLACE und WALLACE, 1992; THOMSON et al., 1993). Sind Mangelsymptome bereits eingetreten, so kann die Blattapplikation verschiedener Fe-Verbindungen Abhilfe leisten. Ihre Effizienz hängt unter anderem von der chemischen Zusammensetzung der Produkte, aber auch von vielen Faktoren ab, die in Wechselwirkungen treten können.

Bei komplexem Mikronährstoffmangel überwogen die Fe-Mangelsymptome, gefolgt von den Mn-Mangelsymptomen. Die Symptome des Mangels an anderen Spurenelementen wurden durch den Fe- und Mn-Mangel überdeckt. Derartige Symptomausbildung wird besonders beobachtet, wenn der Mikronährstoffgehalt des Ausgangsgesteins nicht sonderlich hoch ist bzw. wenn hohe pH-Werte die Verfügbarkeit der Elemente vermindern (AMBERGER, 1980; SARKAR und WYN JONES, 1982; SHARMA und KANWAR, 1985; DÖRING und GERICKE, 1986; DÖRING, 1987; EL-FOULY et al., 1988; PAPASTYLIANOU, 1990; MORTVEDT, 1991; GERICKE, 1994; MENGEL, 1994a; MODAIHSH, 1997; YILMAZ et al. 1997).

Bei Mn- und Zn-Unterversorgung entwickelten die Pflanzen kurz vor Versuchsende, d. h. 24 Tage ohne Mn bzw. ohne Zn, nur eine leichte Chlorose der jüngsten Blätter als Zeichen von Mn- bzw. Zn-Mangel. In bezug auf Mn-Mangel stimmen diese Symptome mit vielen Beobachtungen aus der Literatur überein (vgl. z. B. SHARMA und KANWAR, 1985; BERGMANN, 1983; EL-FOULY et al., 1988; LUYINDULA, 1988), während sie wesentlich vom Bild des Zn-Mangels abweichen. Zahlreichen Angaben aus der Literatur zufolge reagiert eine Reihe von wichtigen Kulturpflanzen, darunter auch die Phaseolus-Bohne auf Zn-Mangel mit stark ausgeprägten Mangelsymptomen.

Übereinstimmend werden nachfolgende Symptome als typisch für Zn-Mangel bei verschiedenen Pflanzenarten beschrieben:

- Entwicklung kleiner und z. T. deformierter Blätter („little leaf“),
- kurze Internodien,
- Interkostalchlorose bzw. -nekrosen jüngerer Blätter,
- violette bis graubraune Punktnekrosen
(VIETS et al., 1954; BOAWN und LEGGETT, 1963; TRIER und BERGMANN, 1974; OHKI, 1975; RAHIMI und BUSSLER, 1978; LUYINDULA, 1988;).

Als weiteres Zeichen von Zn-Mangel ist eine auffällige Zunahme der Wurzeltrockenmasse zu nennen, die auch von anderen Autoren bei verschiedenen Pflanzen beobachtet wurde (CAKMAK UND MARSCHNER 1988; CAKMAK et al., 1996). Allerdings werden auch Nekrosen an älteren Blättern als Zeichen einer unzureichenden Zn-Versorgung der Pflanzen beobachtet (CHRISTENSEN und JACKSON, 1981).

Wenn sie früher oft als Zeichen von Zn-Mangel angesehen wurden, so werden sie nach neueren Erkenntnissen als Symptome von P-Toxizität gedeutet, die durch den Zn-Mangel hervorgerufen wird (CAKMAK und MARSCHNER, 1986; CAKMAK und MARSCHNER, 1988; WEBB und LONERAGAN, 1988; CAKMAK und MARSCHNER, 1990; PINTON et al., 1993).

Neben der Bodendüngung gehört die Blattapplikation von Mn- bzw. Zn-haltigen Formulierungen zu den praxisüblichen Maßnahmen zur Vorbeugung bzw. zur Korrektur von Mn- bzw. Zn-Mangelsymptomen insbesondere auf alkalischen Böden. Der Blattapplikation wird jedoch häufig der Vorzug gegeben, weil mit geringeren Nährstoffmengen eine höhere Ertragswirksamkeit erzielt wird z. B. bei Mn (RANDALL et al., 1975; GETTIER et al., 1985; SHARMA und KANWAR, 1985; RUPPE, 1986; RUPPE und PODLESACK, 1992b; HECKMAN et al., 1993) und bei Zn (BASSO et al., 1990; MacNAEIDHE und FLEMING, 1990; SWIETLIK und LADUKE, 1993; YILMAZ, 1997).

In der vorliegenden Arbeit konnte die präventive Blattapplikation des Multielement-Blattdüngers, der sowohl Mn als auch Zn enthält, die Entwicklung der Mn- und Zn-Mangelsymptome völlig verhindern. Diese positive Wirkung spiegelte sich in einer Erhöhung sowohl der Mn- bzw. Zn-Konzentration der Pflanzen, als auch der Biomasseproduktion, wider.

Allerdings werden auch negative Erfahrungen gemacht bzw. Wirkungslosigkeit registriert, wobei sich das unbefriedigende Ergebnis der Blattdüngung nicht in jedem Fall erklären läßt (LAUER, 1982; SWIETLIK und LADUKE, 1993). Mitverantwortlich für Mißerfolge bei Blattdüngungsmaßnahmen sind Wechselwirkungen zwischen Blattdüngerlösungen und Umweltfaktoren in Verbindung mit dem Ernährungszustand der Pflanzen. Dies setzt eine gesicherte Diagnose durch die Blattanalyse voraus.

6.2 Veränderung des Mineralstoffprofils

Für ein optimales Wachstum benötigen die Pflanzen eine bestimmte Minimumkonzentration an einzelnen Nährstoffen im Gewebe. Im bevorstehenden Abschnitt wurden die beobachteten Symptome beschrieben und diskutiert. Sie waren vor allem auf ein unzureichendes Nährstoffangebot zurückzuführen. Da ein Element im Mangelbereich unter Umständen einen absoluten oder relativen Überschuß an einem anderen bzw. mehreren anderen Nährstoffen hervorrufen kann (BERGMANN und NEUBERT, 1976), ist die Beurteilung des Nährstoffstatus der Pflanzen nach Symptomen auch unter kontrollierten Klimakammerbedingungen mit gewisser Unsicherheit behaftet.

Um diese Unsicherheit bei der Diagnose von Ernährungsstörungen und bei den eventuell zu ergreifenden Maßnahmen zu vermindern, werden zusätzlich zu den Symptomen Ergebnisse der Pflanzenanalyse herangezogen. Hierbei wird zugrundegelegt, daß zwischen dem Nährstoffgehalt in der Pflanze zu einem bestimmten Entwicklungsstadium (meistens am Ende des vegetativen Wachstums) und der später erreichten Ertragshöhe eine enge Beziehung besteht (FINCK, 1967; ANONYM, 1988).

Abweichend hiervon wird als Kriterium für die Beurteilung des Fe-Ernährungszustandes der Pflanzen das sog. physiologisch aktive Eisen empfohlen. Als physiologisch aktives Eisen gilt der Fe-Anteil am gesamten Fe-Gehalt, der mit Hilfe verschiedener Extraktionsmittel (aus technischen und Kostengründen wird häufig der Anwendung von HCl (1 M) der Vorzug gegeben) aus dem Probematerial extrahiert wird. Die auf diese Weise ermittelte Konzentration entspricht dem Fe^{2+} -Anteil am Gesamteisengehalt (LOOP und FINCK, 1984; TAKKAR und KAUR, 1984; RAO et al., 1987; MANZANARES et al., 1990). Auch für Zink soll der wasserlösliche Zn-Anteil besser den Versorgungsstatus widerspiegeln als der gesamte Zn-Gehalt (CAKMAK und MARSCHNER, 1987).

Aufgrund der einfacheren Analyse wurde in der vorliegenden Arbeit auf die Bestimmung von physiologisch aktivem Eisen bzw. Zink verzichtet. Von größter Bedeutung für die Bewertung der Nährstoffanalyse und die eventuell einzuleitenden Düngungsmaßnahmen ist der Ertragsgrenzwert. Das ist die Nährstoffkonzentration unterhalb derer bei gegebenen Standort- und Produktionsbedingungen der Maximalertrag ohne entsprechende Nährstoffzufuhr nicht erreichbar ist. Zur Beurteilung des Ernährungszustandes der Pflanzen wird aber auch häufig der sog. kritische Nährstoffgehalt verwendet. Dieser stellt die Nährstoffkonzentration dar, bei der 90% des Maximalertrags erzielt werden können (FINCK, 1980; OHKI, 1987). In der vorliegenden Arbeit wurde ausschließlich der Begriff Ertragsgrenzwert verwendet.

6.2.1 Veränderung des Nährstoffprofils bei Mg-Mangel

Nach Angaben von BERGMANN (1983) ist zur optimalen Mg-Versorgung der Pflanzen eine Mg-Konzentration von 2,5 bis 7,0 mg/g TS im ausgewachsenen Blatt erforderlich. Erwartungsgemäß haben die Pflanzen unter Mg-Mangel eine extrem niedrige Mg-Konzentration in den Blättern. Der in der vorliegenden Arbeit ermittelte Mg-Gehalt von ca. 0,6 mg/g TS liegt weit unter den für verschiedene Pflanzenarten angegebenen Ertragsgrenzwerten, die bei etwa 2 mg Mg/g TS liegen z. B.: 2 mg für Kartoffel (SCHRODER, 1959), 1,5 mg bzw. 2 bis 4 mg für Mais (PEASLEE und MOSS, 1966; WALWORTH und CECCOTT, 1990), 1 mg für Zuckerrübe (TERRY und ULRICH, 1974), 2 bis 2,5 mg für Baumwolle (CHEESLING und PERKINS, 1970; JOLY, 1978), 2 mg für Buschbohne (CAKMAK und MARSCHNER, 1992).

Der Mg-Mangel hatte keine wesentliche Veränderung der P- und K-Konzentration der Blätter zur Folge. Der Ca- sowie der Fe-Gehalt wurde zwar durch den Mg-Mangel deutlich vermindert, doch eine Ca- bzw. Fe-Unterversorgung der Pflanzen zusätzlich zu Mg-Mangel war nicht zu befürchten. Bei Mg-Mangel wird die Photosyntheserate vermindert und die Dunkelatmung erhöht (TERRY und ULRICH, 1974; CAO und TIBBITTS, 1992; FISCHER und BREMER, 1993). Das hat eine CO₂-Anreicherung in der Zelle zur Folge, welche früher oder später zum Schließen der Stomata und somit zur Verminderung der vorwiegend von der Transpiration abhängigen Ca-Aufnahme führt.

Ähnlich wie bei SPARKS (1986a) hat der Gehalt an Mn, Zn, und Cu in den Blättern der Mg-Mangelpflanzen zugenommen. Eine ähnliche Zunahme der Mikronährstoff-Konzentration beobachteten FAGERIA und BALIGAR (1997) bei Buschbohnen, die unter Mg-Mangel auf einem Oxisol in Brasilien aufgezogen wurden. Bei SPARKS (1986) bewirkte die Blattapplikation einen Rückgang der erhöhten Mikronährstoff-Konzentration der Blätter. Die durch die Mg-Unterversorgung der Pflanzen hervorgerufenen Nährstoffungleichgewichte konnten jedoch nicht ausgeglichen werden. Dies ist insofern nicht verwunderlich, als der Mg-Gehalt der Blätter auch bei höchster Mg-Konzentration in der Spritzlösung (0,96% MgSO_4) noch im Mangelbereich ($\leq 2 \text{ mg/g TS}$) lag.

Die in der vorliegenden Arbeit geprüften Mg-Blattdünger konnten nicht nur bei der präventiven, sondern auch bei der kurativen Behandlung eine Abnahme der Mg-Konzentration im Blatt verhindern. Bei der letztgenannten Blattapplikationsvariante waren die neu gebildeten Blätter an den Seitentrieben (sie machten bis zu 50% der gesamten Blattoberfläche aus) völlig gesund und konnten die Funktionsausfälle der vom Mg-Mangel erfaßten Blätter ausgleichen. Eine Translokation des über die Blätter aufgenommenen Magnesiums in die Wurzeln scheint jedoch unwahrscheinlich. Hingegen lassen die Nährstoffkonzentrationen und die Gesamtgehaltswerte der Wurzelfraktion den Schluß zu, daß die in den Mg-Blattdüngern enthaltenen Spurennährstoffe über das Blatt aufgenommen und in die Wurzeln verlagert wurden. Zur endgültigen Bestätigung dieser Aussage wären jedoch weitere Untersuchungen mit entsprechender Versuchsmethodik ggf. unter Einsatz von Radioisotopen erforderlich.

6.2.2 Veränderung des Nährstoffprofils bei Mikronährstoffmangel

Die Nährstoffzusammensetzung der Pflanzen wurde sowohl durch die Mikronährstoff-Unterversorgung als auch die Blattapplikation erheblich verändert. So bewirkte der Fe-Mangel eine Zunahme des Gehaltes an den untersuchten Makronährstoffen in den Blättern, während die Konzentration der Massennährstoffe in den Wurzeln kaum verändert wurde. Die Blattapplikation führte zu einer Verbesserung des Wachstums der Pflanzen, das von einer Abnahme der Makronährstoff-Konzentration im Blatt begleitet wurde (Verdünnungseffekt).

Eine Zunahme der Konzentration von Makronährstoffen als Folge der Unterversorgung der Pflanzen mit Fe wurde von anderen Autoren bei verschiedenen Pflanzenarten berichtet (z. B. WADLEIGH und BROWN (1959) bei Bohnen, KIRKBY und MENGEL (1967) bei Tomaten, JUNGK et al. (1972) bei Tomaten, EGMOND und AKTAS (1977) bei Zuckerrüben, CLARK et al. (1981) bei Sorghum, LUYINDULA (1988) bei Bohnen, ALLOUSH et al. (1990) bei Kichererbse.

Über die durch das gehemmte Wachstum hervorgerufene Gehaltszunahme wird immer wieder die Feststellung gemacht, daß im Vergleich zur Vollversorgung eine unzureichende Fe-Versorgung der Pflanzen doch physiologische Veränderungen einleitet, die mit Veränderungen im Nährstoffprofil der Pflanzen einhergehen (KIRKBY und MENGEL, 1967; BEUSICHEM et al., 1988; ALLOUSH et al., 1990). Hierbei spielt die Bindungsform des angebotenen Stickstoffes eine besondere Rolle. Bei $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ernährung übersteigt die Aufnahme von Nährstoffkationen die der Anionen, wodurch zur Wahrung des Ionengleichgewichtes der Zelle eine dem Kationenüberschuß entsprechende H^+ -Menge an das Außenmedium abgegeben wird.

Umgekehrt werden bei der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Ernährung mehr Anionen aufgenommen als Kationen und dem entsprechend OH^- -Ionen abgeschieden (KIRKBY und MENGEL, 1967; MARSCHNER, et al., 1986; BEUSICHEM et al., 1988; ALLOUSH et al., 1990). Unter Bedingungen begrenzter Fe-Verfügbarkeit im Nährmedium wird dieses normale Verhalten der Pflanzen gestört. Bei sog. "Fe-effizienten" Pflanzen, sowohl bei Dikotylen als auch bei Monokotylen (außer Gramineen), kommt es bei der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Ernährung zu einer verstärkten Protonenabgabe an das Nährmedium (BROWN und JONES, 1974; RÖMHELD et al., 1982; ALLOUSH et al., 1990; JOLLEY et al., 1996).

Diese verstärkte H^+ -Abgabe soll dem Überschuß an Nährstoffkationen im Verhältnis zu den Anionen entgegenwirken, deren Aufnahme durch den Fe-Mangel stimuliert wird (VENKAT-RAJU et al., 1972; EGMOND und AKTAS, 1977; ALLOUSH et al., 1990). Anderen Angaben zufolge ist die Protonenabscheidung mehr als nur ein Ausgleich des Kationenüberschusses gegenüber der Anionenaufnahme.

Die Senkung des pH-Wertes des Nährmediums soll durch eine im Plasmalemma lokalisierte Protonenpumpe hervorgerufen werden, die von BIENFAIT (1988) als Turboreduktase bezeichnet wurde und deren Aktivität bei Fe-effizienten Pflanzen durch den Fe-Mangel induziert wird (LANDSBERG, 1981; ZOCCHI und COCUCCHI, 1990; WELCH et al., 1993; BIENFAIT, 1996; JOLLEY et al., 1996). Auch ALLOUSH und SANDERS (1990) beobachteten eine Protonenabgabe in die Nährlösung bei Kichererbse, obwohl die Aufnahme von Kationen und Anionen durch Fe-Mangel in gleicher Weise vermindert wurde.

Bei Mn-Mangel wurde eine leichte aber hochsignifikante Erhöhung des P- und K-Gehalts der Blätter beobachtet. Dagegen wurde der Ca- und vor allem der Mg-Gehalt vermindert. Dieser Befund stimmt mit Beobachtungen von SCHERER und HÖFNER (1980a,b) bei Sonnenblume und Mais, CLARK et al. (1981) bei Sorghum und LUYINDULA (1988) bei Buschbohne überein. Die Blattapplikation hatte eine nur unwesentliche Wirkung auf den Makronährstoff-Gehalt der Blätter, auch wenn die ermittelten Werte statistisch gut gesichert sind. Die hochsignifikant niedrigen Ca- und Mg-Gesamtgehalte sowohl der Blatt- als auch der Wurzelfraktion scheinen auf eine Beeinträchtigung der Ca- und Mg-Aufnahme durch den Mn-Mangel hinzudeuten. Eine Ca- bzw. Mg-Unterversorgung der Pflanzen zusätzlich zu Mn-Mangel war jedoch nicht zu befürchten. Dies kommt besonders durch die DRIS-Indizes deutlich zum Ausdruck.

Im Hinblick auf die Makronährstoffversorgung der Pflanzen wurde die P-Konzentration der Blätter bei Zn-Mangel in besonderem Maße gesteigert. Sowohl die P-Konzentration als auch der P-Gesamtgehalt der Blätter weisen auf eine durch die Zn-Unterversorgung verstärkte P-Aufnahme hin. Die Gegenüberstellung der Konzentrations- und Gesamtgehaltswerte der Blatt- und Wurzelfraktion schließt eine P-Akkumulation in den Wurzeln aus und spricht eher für eine durch den Zn-Mangel "geförderte" Translokation des aufgenommenen Phosphors in die Blätter.

Eine P-Toxizität war jedoch nicht befürchten. Der in der Blattfraktion ermittelte P-Gehalt von ca. 1% war weit entfernt von den P-Konzentrationen von 2% und mehr, bei denen Toxizitätserscheinungen beobachtet werden (CHRISTENSEN und JACKSON, 1981; CAKMAK und MARSCHNER, 1986a; WEBB und LONERAGAN, 1988). Dies wurde auch durch den P-Index bestätigt.

In der Literatur finden sich zahlreiche Angaben über Wechselwirkungen zwischen P und Zn (SAFAYA, 1976; RAHIMI und BUSSLER, 1979; 1982; CHRISTENSEN und JACKSON, 1981; CAKMAK und MARSCHNER, 1986; LUYINDULA, 1988; WEBB und LONERAGAN, 1988). Die verstärkte P-Aufnahme bei Zn-Mangel wurde zunächst in Verbindung mit der Funktion von Zn bei der Stabilität der Zellmembranen und somit in zunehmender Membranpermeabilität bei Zn-Mangel gesehen (SAFAYA, 1976; CAKMAK und MARSCHNER, 1986; CAKMAK und MARSCHNER, 1988).

In ihren Untersuchungen konnten CAKMAK und MARSCHNER (1988) nachweisen, daß bei Zn-Mangel die Bildung der freien Sauerstoffradikale verstärkt wird, was zur Zerstörung und zur Zunahme der Permeabilität von Zellmembranen führt. Hierbei ist diese Zunahme der Produktion von Sauerstoffradikalen nicht nur auf eine Verminderung der Aktivität der u. a. Zn-haltigen Superoxiddismutase (SOD) zurückzuführen, sondern auch auf die Zunahme der Aktivität der NADPH-abhängigen Oxidase, über welche die Bildung von Sauerstoffradikalen stimuliert wird (LEE und BENNET, 1982; CAKMAK und MARSCHNER, 1988). Tatsächlich führte eine Zugabe von Zn zum Zn-freien Nährmedium zu einer Abnahme der Ausscheidung verschiedener Substanzen wie NO_3^- , K^+ , Aminosäuren, Zucker und Phenolen aus den Wurzeln von Zn-Mangelpflanzen bereits innerhalb von 8 bis 12 Stunden (CAKMAK und MARSCHNER, 1988; ZHANG et al., 1991) bzw. zur Senkung des ³²P-Translokationsindices.

Die verstärkte P-Aufnahme und -Translokation in die oberirdischen Teile (insbesondere in die Blätter) kann aber nicht allein durch die Membrandurchlässigkeit aufgrund des Zn-Mangels erklärt werden, da die Aufnahme anderer Makroelemente entweder vermindert oder, wie in der vorliegenden Arbeit, nur unwesentlich beeinflusst wurde. Nach CAKMAK und MARSCHNER (1986) wird die Aufnahmerate der Nährstoffe durch die interne Konzentration der einzelnen Elemente über sog. spezifische negative feedback-Mechanismen gesteuert.

Für die Regulierung der Aufnahmerate wird angenommen, daß bei zu niedriger interner Konzentration (latentem oder akutem Mangel) der Mechanismus der Aufnahme in den Wurzeln „de-repressed“ wird, was die Aufnahme des speziell limitierenden Nährstoffes stimuliert und dessen Transport zum Sproß veranlaßt (CAKMAK und MARSCHNER, 1986). Umgekehrt wird eine Akkumulation eines gegebenen Elements bis in toxischen Konzentrationen verhindert, indem dessen Aufnahme- und Transportsystem in den Wurzeln gedrosselt ("repremiert") wird. CAKMAK und MARSCHNER (1986) und CAKMAK (1987) kamen zu dem Schluß, daß die verstärkte P-Translokation von den Wurzeln in den Sproß bei Zn-Mangel auf eine Störung des Mechanismus zurückgeht, der den P-Übertritt aus den Wurzeln in das Xylem kontrolliert.

In ihren Untersuchungen an Baumwolle belegten sie eindeutig, daß die Retranslokation von ³²P vom Sproß in die Wurzeln spezifisch durch den Zn-Mangel gestört ist. Es wird angenommen, daß bei Zn-Mangelpflanzen das Signal für die Rückführung (recycle) des Phosphors aus dem Sproß in die Wurzeln schwach ist bzw. gänzlich fehlt. Als Konsequenz bleibt das Aufnahme- und Transportsystem für P weiterhin "de-repremiert" (de-repressed), was zu einer P-Akkumulation bis in toxische Konzentrationen führt (CAKMAK und MARSCHNER, 1986; CAKMAK, 1987). Bei einer erneuten Zn-Gabe zu Mangelpflanzen geht die P-Konzentration der Blätter in relativ kurzer Zeit deutlich zurück (CAKMAK und MARSCHNER, 1986; CAKMAK, 1987).

In den eigenen Untersuchungen führte die Behandlung von Zn-Mangelpflanzen mit Zn-haltigen Blattdüngern zur Senkung der erheblich gesteigerten P-Konzentrationen in den Blättern auf das Niveau der Kontrolle. Diese positive Wirkung der Blattapplikation findet sich auch in der absoluten P-Menge wieder, die in den Blättern akkumuliert wurde. Der Befund läßt die Schlußfolgerung zu, daß mit der präventiven Blattapplikation einer wirksamen Zn-haltigen Formulierung die Gefahr einer bei Zn-Mangel zu befürchtenden P-Toxizität vermindert oder gar abgewendet werden kann. Von besonderer Bedeutung sind Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen bei unausgewogener Versorgung der Pflanzen mit Spurenelementen.

Diese Besonderheit ist darin begründet, daß die Spurenelemente, im Gegensatz zu den Massennährstoffen, bereits bei geringen Mengen im Nährmedium das Pflanzenwachstum und die Ertragsbildung positiv beeinflussen und daß sich die optimale Menge in einem sehr engen Bereich bewegt und deshalb beim Überschreiten der optimalen Gabe starke Ertragsdepressionen bis zum totalen Ernteausschlag auftreten können (BERGMANN und NEUBERT, 1976).

In der Literatur finden sich zahlreiche Angaben über Wechselwirkungen zwischen Mikronährstoffen bei verschiedenen Kulturpflanzen. In den meisten Fällen weisen die Pflanzen beim Mangel an einem Spurenelement eine höhere Konzentration an anderen Nährstoffen im Vergleich zu den vollversorgten Pflanzen auf. Diese Zunahme des Nährstoffgehaltes wird auf die Beeinträchtigung des Wachstums und der Biomasseproduktion zurückgeführt und ist als Ergebnis des Konzentrationseffekts bekannt (SMITH, 1962; RAHIMI und BUSSLER, 1979; SCHERER und HÖFNER, 1980a,b; CLARK et al., 1981; JARRELL und BEVERLY, 1981; LUYINDULA, 1988).

Bei der Aufnahme von Nährstoffen und ihrem Ferntransport von den Wurzeln in den Sproß sind antagonistische Effekte nicht auszuschließen. So wird beim Fehlen oder bei einem unzureichenden Angebot an einem Element die Aufnahme anderer Nährstoffe gefördert wird, was sich in der Konzentration und in ihrem Verhältnis zueinander widerspiegelt (SOMMER und SHIVE, 1942; OHKI, 1975; BERGMANN und NEUBERT, 1976; SCHERER und HÖFNER, 1980a,b; GUZMAN et al., 1991).

In der vorliegenden Arbeit wurden sowohl Konzentrationseffekte als auch eine gegenseitige Beeinflussung bei der Aufnahme beobachtet. So wiesen die Pflanzen bei vermindertem Fe-Angebot in der Nährlösung eine extrem niedrige Fe-Konzentration aber einen erhöhten Gehalt an den Spurenelementen Mn, Zn und Cu im Blatt auf. Umgekehrt hat der Gehalt an Fe und Zn bei Mn-Mangel bzw. der Gehalt an Fe und Mn in den Blättern bei Zn-Mangel erheblich zugenommen, obwohl der TS-Ertrag der Blattfraktion nur geringfügig zurückging. Diese Zunahme der Gehaltswerte geht auf die Aufnahme der Elemente zurück, die bei der Abwesenheit des einen oder des anderen Elementes im Nährmedium offensichtlich verstärkt wird.

Wie die DRIS-Indizes für die untersuchten Mikronährstoffe zeigen, war der Mangel an einem Spurenelement mit einem relativem Überschuß an anderen Mikronährstoffen verbunden, Toxizitätserscheinungen traten jedoch nicht auf. Mn-Konzentrationen bis zu 500 µg Mn/g Trockensubstanz der Blätter, bei denen Toxizitätserscheinungen bei empfindlichen Pflanzen wie der Buschbohne zu beobachten sind (GILLER et al., 1992), wurden nicht erreicht. Diese Feststellung wird auch durch die DRIS-Indizes für Mn und Zn belegt.

Die ermittelte Fe-Konzentration von etwa 60 µg Fe/g TS bei Fe-Unterversorgung liegt im Mangelbereich (MENGEL, 1984; RÖMHELD und MARSCHNER, 1991). Der erhöhte Gehalt an anderen Mikronährstoffen kann eher als Ergebnis des Konzentrationseffektes betrachtet werden. Diese Aussage stützt sich auf die Gesamtgehaltswerte, die aufgrund des verminderten Wachstums auch niedrig sind. Zusätzlich zu den Nährstoffkonzentrationen sollten die Gesamtgehaltswerte bei der Beurteilung von Mangelsituationen herangezogen werden. Damit können antagonistische Wechselwirkungen von Konzentrationseffekten bzw. von Folgen anderer physiologischer Vorgänge besser auseinander gehalten werden als nur durch Konzentrationsangaben (SCHERER und HÖFNER, 1980a,b; FARDOSSI und DANNEBERG, 1984).

In Untersuchungen von BROWN (1979) bzw. JOLLEY und BROWN (1991) an zwei Buschbohnsensorten oder von WELCH et al. (1993) an Erbsenpflanzen konnte gezeigt werden, daß die Pflanzen bei Zn-Mangel ähnliche morphologische und physiologische Merkmale wie Fe-effiziente Pflanzen bei einer unzureichenden Fe-Versorgung (verstärkte Wurzelhaarbildung und Erhöhung des Reduktionsvermögens u. a.) entwickeln.

Auf diesem Weg werden hohe Mengen an Spurenelementen, vor allem Fe, aber auch Mn und Cu aufgenommen, die über den Antagonismus zwischen Zn und Fe bzw. Mn hinaus, die negativen Folgen des Zn-Mangels noch verstärken (JOLLEY und BROWN, 1991).

Die Wirksamkeit von Blattdüngungsmaßnahmen wird unter anderem auch nach ihrem Effekt auf die Konzentration der Nährstoffe im Blatt gemessen. In den meisten Fällen wird eine Erhöhung des Gehaltes des in Frage kommenden Nährstoffes erwartet und auch erzielt (WALLACE und WALLACE, 1983; HSU und ASHMEAD, 1984; SHARMA und KANWAR, 1985; KIEKENS und CAMERLYNCK, 1986; EL-FOULY et al., 1988; GAPTA, 1991; FERNANDEZ-LOPEZ et al., 1993).

Es kommt aber auch vor, daß die Zunahme der Fe-Konzentration nach Blattdüngung nicht eintritt (REED et al., 1988) oder, wie in der vorliegenden Arbeit, nicht sonderlich hoch ist, um den Bedarf der Pflanzen zu decken. Durch die Blattapplikation stieg der Fe-Gehalt von ca. 60 µg Fe/g TS auf knapp 100 µg Fe/g TS, weniger als die Hälfte der Fe-Konzentration der Kontrollpflanzen. Da bei dieser Konzentration die Fe-Mangelpflanzen trotz der Blattapplikation Chlorose zeigten, scheint die Aussage von MENGEL (1984), wonach bei einem absoluten Fe-Mangel Fe-Konzentrationen unter 100 µg Fe/g TS vorliegen, wohl nicht unberechtigt zu sein. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß Vorgänge im Zusammenhang mit der N-Ernährungsform, die an anderer Stelle diskutiert wurden, die physiologische Verfügbarkeit des mit der Blattapplikation zugeführten Eisens im Vergleich zum Bedarf vermindert haben könnten.

Nach BERGMANN (1983) werden mindestens 40 µg Mn/g TS bzw. von 30 µg Zn/g TS in der Blattfraktion für eine ausreichende Mn- bzw. Zn-Versorgung der Buschbohne angesehen. Sinkt diese Konzentration bis auf 10 µg Zn/g TS bzw. 20 µg Mn/g TS, dann wird die Biomasseproduktion erheblich beeinträchtigt (OHKI, 1975; OHKI et al., 1979; CLARK et al., 1981; GETTIER et al., 1985; OHKI, 1987; LUYINDULA, 1988; LONGNECKER und GRAHAM, 1990; HECKMAN et al., 1993; SWIETLICK und LADUKE, 1993). Diese Konzentrationen werden deshalb als Ertragsgrenzwert für die meisten Pflanzen angesehen. Beim Zn-Gehalt sind die Angaben weniger übereinstimmend als bei Mn. In Untersuchungen von RAHIMI und BUSSLER (1979) an neun verschiedenen Pflanzenarten wurden bei Pflanzen mit Mangelsymptomen Zn-Konzentrationen zwischen 8 und 21 µg/g TS gefunden. Bei Zn-Gehalten zwischen 14 und 37 µg/g TS lag ein latenter Zn-Mangel vor. Je nach Pflanzenart wurde eine optimale Zn-Konzentration zwischen 16 µg/g TS und 52 µg/g TS ermittelt.

Anderen Angaben zufolge weisen Zn-Konzentrationen zwischen 10 bis 15 µg/g TS im Blatt eindeutig auf eine unzureichende Zn-Versorgung hin (FRANCK und FINCK, 1980; CLARK et al., 1981; ÇAKMAK und MARSCHNER, 1986; ÇAKMAK und MARSCHNER, 1988; LUYINDULA, 1988; WEBB und LONERAGAN, 1988; ARMOUR et al., 1990; SWIETLIK und LADUKE, 1993; DANG et al., 1993). Dieser Zn-Gehalt wird von vielen der o. g. Autoren auch als Ertragsgrenzwert betrachtet.

In eigenen Untersuchungen wurde in der Blattfraktion eine Konzentration von 20 µgMn/g TS bei Mn- bzw. 10 µg Zn/g TS bei Zn-Mangel ermittelt, was die schwache Ausprägung der Mn- bzw. Zn-Mangelsymptome erklärt. Die Blattdüngung erhöhte die Mn- und Zn-Konzentration jeweils auf mindestens 50 und 60 µg/g TS. Damit konnte nicht nur die Weiterentwicklung der Mangelsymptome, sondern auch ein weiterer Ertragsrückgang verhindert werden. Neben ähnlichen positiven Wirkungen der Blattapplikation bei Mn- bzw. Zn-Mangel (KIEKENS und CAMERLYNCK, 1986; EL-FOULY et al., 1988; MacNAEIDHE und FLEMING, 1990) finden sich in der Literatur auch andere Erfahrungen, nach denen die Zunahme der Mn- bzw. Zn-Konzentration nach Blattapplikation nicht von einer Ertragsverbesserung begleitet wird (SHARMA und KANWAR, 1985; BASSO et al., 1990; SWIETLICK und LADUKE, 1993).

6.3 Nährstoffangebot und Nährstoffverwertung

Das Gesamtwachstum der Pflanzen als irreversible Zunahme der Trockensubstanz ergibt sich nach LINSER (1969) aus zwei verschiedenen Arten von TS-Vermehrung. Zum einen kommt die TS-Zunahme durch das sog. Systemwachstum zustande. Das ist die Vermehrung jener Substanz wie Protoplasma-, Organellen- und Kernsubstanz, welche die lebenstragenden biochemischen Umsetzungen durchführen und das lebende System der Pflanze darstellen. Das lebende System umfaßt alle Produktionseinrichtungen, die einer Pflanze für ihre stoffwechselchemischen Umsetzungen zur Verfügung stehen und von seiner Syntheseleistung hängen das Wachstum und die Ertragsbildung der Pflanze ab.

Zum anderen handelt es sich um das sog. Produktwachstum. Darunter wird die TS-Vermehrung durch Bildung und Anhäufung von Stoffwechselprodukten unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung (z. B. Kohlenhydrate, Reserveeiweiß) verstanden, die aber keine Träger von Lebensfunktionen sind. Wie anhand von Reinproteinuntersuchungen an Weizen und Ölrettich von LINSER et al. (1968) nachgewiesen wurde, ist die vegetative Entwicklungsphase eine Periode vorwiegenden Systemwachstums. Mit der generativen Phase setzt die Produktsynthese ein. Da die von der Umwelt angebotenen Nährstoffe Ausgangsstoffe des Pflanzenwachstums sind, ist die Versorgungslage nicht ohne Bedeutung für den Umfang des Systemwachstums sowie den Zeitpunkt der Umsteuerung vom System- in das Produktwachstum (LINSER et al., 1970).

6.3.1 Nährstoffverwertung in Abhängigkeit vom Mg- resp. Mikronährstoff-Angebot über die Wurzeln und der Blattapplikation

Erwartungsgemäß beeinträchtigte die Nährstoffunterversorgung der Pflanzen im Jugendstadium (Kurzzeitversuche in der Klimakammer) deren Wachstum. Dabei wirkte sich der Mangel an den einzelnen Nährstoffen unterschiedlich stark negativ auf das Wachstum aus. Während das vegetative Wachstum durch den Mn- bzw. Zn-Mangel nur unwesentlich vermindert wurde, war die Unterversorgung der Pflanzen mit Mg bzw. Fe dagegen sehr repressiv. Am stärksten beeinträchtigt wurden das Wachstum und die Ertragsbildung, wenn mehrere Elemente gleichzeitig im Nährmedium fehlten. Über ähnliche Ergebnisse berichteten andere Autoren wie z. B. DHILLON et al. (1983) und LUYINDULA (1988). Sie lassen sich durch die additive Wirkung von Streßfaktoren erklären (WALLACE, 1986; WALLACE, 1990).

Durch präventive Blattdüngungsmaßnahmen konnte die Ausbildung von Mangelsymptomen bei der Unterversorgung der Pflanzen mit Mg, Mn oder Zn unterbunden und die Ertragseinbuße verhindert werden. Bei kurativer Behandlung war die Effizienz der Blattapplikation nicht ausreichend, um Ertragsdepressionen entgegenzuwirken. Diese Ergebnisse bestätigen erneut die Bedeutung des Ernährungszustandes der Pflanzen sowie die des Zeitpunktes der Blattapplikation für die Wirksamkeit von Blattdüngungsmaßnahmen. Wenn die gewünschte Wirkung einer Blattapplikation ausbleibt, so ist die Ursache hierfür u. a. darin zu suchen, daß die Pflanzen durch den Nährstoffmangel derart gestreßt sind, daß eine Verwertung der über das Blatt angebotenen Nährstoffe nicht mehr einwandfrei erfolgt (DÖRING, 1987; HUNDT und PODLESACK, 1989).

Für die Ertragsbildung der Körnerleguminosen in Verbindung mit Blattapplikationsmaßnahmen ist der Zeitpunkt, zu welchem sie durchgeführt werden, von besonderer Bedeutung. Die Hülsen und die darin eingeschlossenen Samen stellen den ökonomisch wertvollen Anteil an der von der Pflanze gebildeten Biomasse dar.

Unabhängig von der Produktionsrichtung (Samenproduktion oder Erzeugung von Gemüse) ist eine optimale Hülsenentwicklung im Anbau von Körnerleguminosen Voraussetzung für hohe Erträge und gute Ernteproduktqualität.

Der Hülserertrag wird durch eine Reihe von Ereignissen bestimmt, die sich in einem relativ kurzen Zeitabschnitt der reproduktiven Entwicklung abspielen (DE MOURA und FOSTER, 1986).

Die generative Phase bei Körnerleguminosen ist durch den Abwurf von reproduktiven Organen (Blütenknospen, Blüten und unreifen Hülsen) gekennzeichnet. Auch unter optimalen Wachstumsbedingungen ist das Abwerfen von reproduktiven Organen eine "Selbstverständlichkeit". Sie kann aber durch ungünstige Verhältnisse (z. B. zu hohe Temperaturen, Wassermangel, Salzbelastungen, Nährstoffmangel etc.) mehr oder weniger verstärkt werden. Verschiedenen Schätzungen zufolge werden je nach Legumiosenart von 40% bis über 90% der generativen Organe, insbesondere der Blüten, abgeworfen (BINNIE und CLIFFORD, 1981; BRUN und BETTS, 1984; HEINDL und BRUN, 1984; HEIHOLT et al., 1986; TAYO, 1986; PIGEAIRE et al., 1992; XIA, 1993). Als Ursache für diese hohe Abwurfrate wird häufig eine unzureichende Versorgung der jungen Hülsen mit Assimilaten angegeben (TAMAS et al., 1979; HEIDL und BRUN, 1983; POMMER, 1985).

Dieser Befund wurde durch verschiedene Behandlungen (sog. Sink-Source-Manipulationen, CO₂-Begasung, unterschiedlicher Lichtintensität, Behandlung der Pflanzen mit Wachstumsregulatoren), über welche eine höhere Hülsen-Retention erzielt wurde, mehrfach bestätigt (BINNIE und CLIFFORD, 1981; FREYE und SCHILLING, 1983; BRUN und BETTS, 1984; DE MOURA und FOSTER, 1986; SCHONBECK, 1986; TAYO, 1986; XIA, 1993). Da die Abscission aber auch in den ersten Tagen der generativen Entwicklung stattfindet, wo im Vergleich zum Bedarf der jungen Hülsen ein Assimilatüberschuß vorhanden ist (POMMER und KEYDEL, 1980; BRUN und BETTS, 1984), wird nach neueren Untersuchungen hormonellen Einflüssen eine größere Bedeutung bei der Abscission von reproduktiven Organen beigemessen als nur der Assimilatversorgung. Es wird angenommen, daß in den zuerst angesetzten Früchten Phytohormone gebildet werden, welche den Abwurf der später gebildeten Früchte direkt herbeiführen (TAMAS et al., 1979; POMMER, 1985; BANGERTH, 1989; CLIFFORD et al., 1992).

Aus übereinstimmenden Angaben geht hervor, daß die zuerst gebildeten Hülsen (die ersten zwei Wochen der Anthesis) mit der höchsten Wahrscheinlichkeit zur Reife gelangen (TAMAS et al., 1979; BRUN und BETTS, 1984; POMMER, 1985; PECHAN und WEBSTER, 1986; DE MOURA und FOSTER, 1986; ENDO, 1987; ACOSTA-GALLEGOS und ADAMS, 1991; BOUTTIER und MORGAN, 1992). So werden beispielsweise 80% bis 90% des Samenertrages bei Buschbohne den Hülsen zugeschrieben, die sich bereits in den ersten 14 Tagen der generativen Phase entwickeln (DE MOURA und FOSTER, 1986; PECHAN und WEBSTER, 1986; TAYO, 1986).

Es gilt daher, durch produktionstechnische Maßnahmen jeden ungünstigen Faktor gerade in dieser kritischen Phase der Ertragsbildung bei Körnerleguminosen auszuschalten bzw. seine Auswirkungen zu minimieren. Aus versuchstechnischen Gründen war eine Ausdehnung der Vegetationszeit bis zur Reife nicht möglich. Daher wurde bei den Kurzzeitversuchen die Anzahl der angesetzten Hülsen als Kriterium für die Wirksamkeit der getesteten Blattdünger-Formulierungen gewählt. Zunächst muß festgestellt werden, daß die Versorgungslage sowohl bei den Kurzzeitversuchen als auch bei den Langzeitversuchen ohne Einfluß auf den Eintritt der Pflanzen in die generative Phase sowie auf die Blühperiode blieb. Sie übte aber einen wesentlichen Einfluß auf den Hülsenansatz aus. Bei Mg- und Fe-Mangel sowie bei multiplem Mikronährstoff-Mangel wurden die meisten Blüten abgeworfen bzw. wurden die angesetzten Hülsen in ihrer Entwicklung beeinträchtigt.

Wenn auch in geringerem Umfang als bei Mg- und Fe-Mangel bzw. bei multipler Mikronährstoff-Unterversorgung, so wurde die Hülsenbildung durch den Mn- bzw. Zn-Mangel deutlich vermindert. Sowohl die präventiv als auch die kurativ durchgeführten Blattapplikationsmaßnahmen ermöglichten den Mg- und Fe-Mangelpflanzen wie auch den der multiplen Spurennährstoff-Unterversorgung ausgesetzten Pflanzen den Hülsenansatz. Die höhere Anzahl der angesetzten Hülsen der präventiven Blattapplikation gegenüber der kurativen Behandlung bestätigt erneut die Bedeutung des Zeitpunktes der Blattdüngung (zu Blühbeginn, nach ALEXANDER, 1986), wenn Ertragseinbußen und/oder Qualitätsminderungen der Ernteprodukte verhindert werden sollen.

Die höhere Effizienz der präventiven Blattdüngungsmaßnahmen im Vergleich zu der kurativen Behandlung läßt sich unter anderem dadurch erklären, daß die Auswirkungen der Nährstoffunterversorgung auf die Assimilationsfähigkeit des Blattapparates verhindert, die Photosynthese aufrechterhalten und der Hülsenabwurf aufgrund einer besseren Assimilatversorgung vermindert werden konnte (HEIHOLT et al., 1986; PIGEAIRE et al., 1992; XIA, 1993).

Kurative Blattdüngungsmaßnahmen sind deshalb weniger effektiv, weil sie zu einem Zeitpunkt erfolgen, wo aufgrund des Nährstoffmangels Störungen im Stoffwechsel der Pflanzen bereits eingetreten sind, die zur Verminderung der Assimilationsleistung der Pflanzen führen und nicht mehr rückgängig gemacht werden können.

Bei Mg-Mangel zum Beispiel geht nicht nur die Photosyntheseleistung zurück (TERRY und ULRICH, 1974; CAO und TIBBITTS, 1992; FISCHER und BREMER, 1993), sondern wird auch die Ableitung der Photosyntheseprodukte zu den Sinkorganen (hier den Hülsen) gehemmt, was zur Akkumulation der Assimilaten in den Sourceorganen führt (VESK et al., 1966; FISCHER, 1988; FISCHER und BREMER, 1993; CAKMAK et al., 1994; MEHNE-JAKOBS, 1995).

Auch bei Mikronährstoffmangel findet eine Anreicherung von Assimilaten bzw. niedermolekularen Verbindungen (z. B. Aminosäuren aufgrund gestörter Proteinsynthese, VIELMEYER et al., 1969; LERER und BAR-ANKIVA, 1976; DHILON et al., 1983; HEGAB et al., 1983; CAKMAK, 1987; DHILON et al., 1987; CAKMAK und MARSCHNER, 1988) statt.

Die Assimilatanreicherung bei Mg- bzw. Mikronährstoffmangel deutet auf eine verminderte Verwertung sowohl der Mineralstoffe als auch der Photosyntheseprodukte hin, deren Folge eine Beeinträchtigung des Hülsenwachstums sowie ein beachtlicher Rückgang des TS-Ertrages und insbesondere des Hülsenertrages sind. Die Kurzzeitversuche wurden zu einem Zeitpunkt beendet, wo die angesetzten Hülsen als Sinkorgane insbesondere bei den Mangelvarianten noch nicht über eine ausreichende Attraktionsfähigkeit (Sinkkapazität), verfügten um die gebildeten Assimilate wie auch die über das Blatt angebotenen Nährstoffe voll ausnutzen zu können (STOY, 1979; POMMER et al., 1980).

Daß die Verwertung der Assimilate durch die Blattapplikation verbessert werden kann, wenn diese rechtzeitig vorgenommen wird, zeigen die Ergebnisse der Langzeitversuche. Hier wurden die Pflanzen bis zur Reife angezogen und der Samenertrag als Kriterium für die Verwertung der blattapplizierten Nährstoffe zugrundegelegt.

Die Höhe des Samenertrages ist von der Anzahl der Hülsen zur Reife, der Anzahl der Samen pro Hülse sowie dem durchschnittlichen Samengewicht abhängig. In der vorliegenden Arbeit hat die Anzahl der reifen Hülsen für die Ertragshöhe den Ausschlag gegeben, da die Versorgungslage der Pflanzen die beiden anderen Ertragsparameter kaum beeinflusste.

Sowohl bei Mg-Mangel als auch bei der Unterversorgung der Pflanzen mit mehreren Spurennährstoffen während der generativen Phase verhinderten die präventiv durchgeführten Blattapplikationsmaßnahmen einen hochsignifikanten Hülsenabwurf und somit einen Ertragsrückgang. In der Literatur wurden kaum Angaben zur Wirkung von Mg-Blattdüngungsmaßnahmen auf die Ertragskomponenten bei annuellen Pflanzen gefunden, was einen Vergleich der eigenen Ergebnisse mit anderen Forschungsarbeiten einschränkt.

Nach den Untersuchungen von GRIMME (1986) an Weizenpflanzen erhöhten Blattdüngungsmaßnahmen mit Mg-Sulfat den Kornertrag, eine Erhöhung, die der Zunahme des durchschnittlichen Korngewichtes zuzuschreiben war. KISS und POZSAR (1975) berichten nur über eine stimulierende Wirkung von Mg-Blattapplikationen auf die Proteinsynthese bei Erbsenpflanzen. In Untersuchungen von REINBOTT und BLEVINS (1995) mit Sojabohnenpflanzen ergab sich durch eine Mg-Blattdüngung eine mäßige Ertragssteigerung von 12 %.

Was die Wirkung der Mikronährstoff-Blattapplikation anbelangt, so wurde die Ertragsstabilität bei verschiedenen Leguminosenarten positiv beeinflusst (RANDALL, 1975; ABD EL HADI, 1987; HECHT-BUCHOLZ et al., 1987; EL-FOULY, 1986, EL-FOULY, 1987; FAWZI et al., 1989; SCHON und BLEVINS, 1990; SINGH und DAYAL, 1992; ZAITER et al., 1992).

Im allgemeinen führte die Behandlung der Pflanzen mit spurennährstoffhaltigen Blattdünger-Formulierungen zu einer Erhöhung des Samenertrages, welche in erster Linie der Reduzierung des Hülsenabwurfes (Erhöhung der Anzahl der Hülsen, die zur Reife gelangten) zuzuschreiben ist. Aufgrund der eigenen Ergebnisse sind die verwendeten Formulierungen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit auf die Ertragsbildung als effizient zu bewerten.

Insgesamt müssen die geprüften Blattdünger jedoch ihre Ertragswirksamkeit bei anderen Kulturen und vor allem unter Praxisbedingungen unter Beweis stellen, was weitere und umfangreichere Untersuchungen erforderlich macht.

6.3.2 Nährstoffverwertung in Abhängigkeit von der N_2 -Bindung und der Blattapplikation

Ein weiteres Anliegen dieser Arbeit bestand darin, die Wirkung von Blattdüngungsmaßnahmen auf das Wachstum und die Ertragsbildung von Buschbohne in Verbindung mit der N-Düngung und der N_2 -Fixierung zu untersuchen. Unter Feldbedingungen decken Körnerleguminosen ihren N-Bedarf durch die N-Aufnahme aus dem Boden (Bodenvorrat und/oder N-Düngung) bzw. über die symbiontische Fixierung des Luftstickstoffs. Durch die Umverteilung wird ein Teil der aufgenommenen N-Menge in die Samen verlagert. Etwa 40% bis 50% des TS-Ertrages entfallen auf die Samen und die Hälfte der in den Samen befindlichen N-Mengen stammt aus der Retranslokation aus den vegetativen Organen (AFZA et al., 1987). Die letztgenannte Möglichkeit führt jedoch zur Beeinträchtigung der Photosynthese und zur Verminderung der Stoffwechselaktivität d. h. nicht nur der Nährstoffaufnahme, sondern auch der N_2 -Fixierung selbst. Die Auswirkungen dieses Verhaltens, das in der Literatur als "Selbstzerstörung" bekannt ist (SINCLAIR und de WIT, 1976), sind Ertragseinbußen.

In einer Reihe von Arbeiten hat sich eine zusätzliche N-Düngung während der Kornfüllungsphase deshalb als eine Maßnahme zur Erreichung des Maximalertrages erwiesen (GARCIA und HANWAY, 1976; BREVEDAN et al., 1978; VASILAS et al., 1980; MINCHIN et al., 1981; NEUMANN, 1982; ASHOUR und THALLOOTH, 1983).

Die Aussage, nach der die Buschbohne trotz der N₂-Fixierung N-düngerbedürftig ist, um optimale Erträge zu erzielen, wurde durch die eigenen Ergebnisse bestätigt. Mit einer Startdüngung von 40 kg/ha wurde das vegetative Wachstum wie auch die Ertragsbildung hochsignifikant gefördert.

Im Vergleich zu der Variante mit Startdüngung lag der Samenertrag der Pflanzen, die ihren N-Bedarf ausschließlich durch die N₂-Bindung decken mußten, bestenfalls um 50% niedriger. Die positive Wirkung einer zusätzlichen N-Düngung liegt darin begründet, daß die Buschbohne ein relativ niedriges Fixierungspotential aufweist.

Während manche Körnerleguminosenarten, wie z. B. Soja oder Ackerbohne, in der Lage sind, ihren Stickstoffbedarf durch die biologische Stickstoffbindung weitestgehend oder gar voll zu decken (GRAHAM, 1981; WESTERMANN et al., 1981; PIHA und MUUNS, 1987; WESSELMANN, 1987; PARK und BUTTERY, 1989; MARTIN, 1990; HERRIDGE und DANSO, 1995), konnte bei der Buschbohne eine solche Eigenschaft nicht beobachtet werden. Quantitative Angaben über die unter Freilandbedingungen durch die Buschbohne gebundenen N-Mengen streuen in weiten Grenzen, so z. B. 25 bis 30 kg/ha in Brasilien (RUSCHEL et al., 1982), 40 bis 125 kg/ha in Kolumbien (GRAHAM und ROSAS, 1977), 40 bis 120 kg/ha in Kanada (RENNIE und KEMP, 1983).

Sowohl der gesamte Biomassertrag als auch der Samenertrag aus den eigenen Untersuchungen bestätigen die N-Bedürftigkeit der verwendeten Sorte. Tatsächlich bildeten die Pflanzen, die ihren N-Bedarf fast ausschließlich über der N₂-Bindung decken mußten, halb so viel Trockensubstanz als jene, bei denen eine optimale N-Versorgung gewährleistet war. Unter Berücksichtigung der quantitativen Angaben über die Fixierungsleistung von *Phaseolus*-Bohne sowie der eigenen Ergebnisse erscheinen uns die Schätzungen von BERINGER et al. (1988) als zu niedrig. Nicht bestätigt wurde die positive Wirkung der Nachdüngung zu Blühbeginn, wie sie beispielsweise von AFZA et al. (1987) oder ELOWAD und HALL (1987) berichtet wird. Als mögliche Ursache dafür wird vermutet, daß die Konkurrenz um Assimilate zwischen den Hülsen als einem immer stärker werdenden Sink und den Wurzeln zu Lasten des Wurzelstoffwechsels einschließlich der Stickstoffbindung geht. Mehrmals wurde bestätigt, daß die Nährstoffaufnahme unter anderem vom Versorgungsgrad der Wurzeln mit Assimilaten abhängig ist (MENGEL, 1962; SAUERBECK et al., 1980).

Anders formuliert, verbleibt der während der reproduktiven Phase nachgedüngte Stickstoff in hohem Maße ungenutzt im Boden.

Die Blattapplikation von N-haltigen Formulierungen zeigte im allgemeinen eine bessere Wirkung auf die Hülsenbildung als die Bodendüngung und die Kombination der Nachdüngung zu Blühbeginn mit der Blattapplikation während der reproduktiven Phase hatte die größte Ertragswirksamkeit. Beide Ergebnisse sind auch ein Hinweis für eine eingeschränkte Aufnahme des zu Blühbeginn mit der Nachdüngung angebotenen Stickstoffes, zumal die N-Konzentration der Samen bei allen Behandlungsvarianten gleich hoch war.

Allerdings war die Ertragswirksamkeit im Sinn des Samen-TS-Ertrages vom Ernährungszustand der Pflanzen abhängig; besser versorgte Pflanzen verwerteten die über das Blatt angebotenen Nährstoffe besser als die Mangelpflanzen. Im allgemeinen erwies sich die Blattapplikation während der Kornfüllung als vorteilhafter gegenüber der Bodennachdüngung zu Blühbeginn. Damit bestätigen die eigenen Ergebnisse die positive Wirkung von Blattapplikationsmaßnahmen bei anderen Leguminosenarten, über die von zahlreichen Autoren berichtet wurde (GARCIA und HANWAY, 1976; NEUMANN und GISKIN, 1979; TAYO, 1981; GISKIN et al., 1984; TAYO, 1986; STEIN und STOREY, 1986; ELOWAD und HALL, 1987; AFZA et al., 1987; KAMEL et al., 1987; SATHIYAMOORTHY und VIVEKANANDAN, 1988). Andererseits sind Wirkungslosigkeit bzw. negative Wirkungen der Blattdüngung, die während der Kornfüllungsphase als Maßnahme zur Minimierung des Kornertragsrückganges vorgenommen wird, nicht zu übersehen. Mißerfolge sog. "*late season*"-Blattdüngungsmaßnahmen (GARCIA und HANWAY, 1976) wurden z. B. bei Buschbohne (PARKER und BOSWELL, 1980; LAUER, 1982; BUSADA et al., 1984; BOARETO et al., 1990) und bei Soja (WOON und PORTE, 1986; POOLE et al., 1983a,b) beobachtet.

Als Ursache für die negativen Wirkungen wurde ein Überangebot an Nährstoffen über das Blatt mit nachteiligen Auswirkungen ähnlich wie bei Salzschäden vermutet (NEUMANN, 1979; PARKER und BOSWELL, 1980; NEUMANN, 1982). Eine Erklärung für die Wirkungslosigkeit bzw. den Ertragsrückgang nach der Blattapplikation blieb jedoch in einer Reihe von Fällen aus. In allen Untersuchungen, wo eine positive Wirkung der Blattdüngung registriert wurde, wird die Ertragswirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen der Erhöhung der Anzahl der Hülsen, die zur Reife gelangten, zugeschrieben.

Mit anderen Worten trugen die Maßnahmen zur Verminderung der Abscission von reproduktiven Organen insbesondere der Hülsen bei. Der Blüten- bzw. Hülsenabwurf ist ein selbstverständliches Phänomen bei Körnerleguminosen, kann aber in Abhängigkeit von den Standortfaktoren verstärkt werden und die Ertragsleistung der Pflanzen limitieren. Wie in der vorliegenden Arbeit gezeigt wurde, kann die Blattapplikation zur Minimierung der negativen Auswirkungen des Phänomens Hülsenabwurf und somit zur Ertragsstabilität bei Leguminosen einen Beitrag leisten.

6.4 Qualität der Ernteprodukte

Die ernährungsphysiologische Qualität von Agrarprodukten wird durch den Gehalt an Inhaltsstoffen wie Eiweiß, Kohlenhydraten, Fetten, Vitaminen, sowie durch den Gehalt an Mineralstoffen bestimmt. Wie an einer anderen Stelle erwähnt, dient der Anbau von Körnerleguminosen der Samenproduktion oder der Erzeugung von Gemüse. Die Buschbohne ist für viele Menschen in Afrika und Lateinamerika nach wie vor ein unverzichtbarer Eiweißlieferant (MANRIQUE, 1993b).

Der Beitrag des Samenproteins zur Eiweißversorgung wird auf 20% geschätzt (KARANJA und WOOD, 1988). Aufgrund des niedrigen Gehaltes an essentiellen S-haltigen Aminosäuren (insbesondere Methionin und Cystin), gilt die biologische Wertigkeit des Eiweißes der Samen von Körnerleguminosen generell und von Buschbohne speziell als niedrig (KAY, 1979). Nach Angaben von KAY (1979) schwankt der Rohproteingehalt von Buschbohnsensamen zwischen etwa 15% und 30%. In eigenen Untersuchungen lag er bei 20% und wurde durch die verschiedenen Behandlungen nur unwesentlich (± 3 -5%) beeinflusst.

Ein weiteres wichtiges Qualitätskriterium stellt der Mineralstoffgehalt der Bohnen (grüne Bohnen oder Samen) dar. Da aufgrund des Mg- bzw. Mikronährstoffmangels im Jugendstadium keine Hülsen gebildet wurden, kann hier keine Angabe über deren Nährstoffzusammensetzung gemacht werden. Es wird jedoch angenommen, daß die Einlagerung der Nährstoffe in die Hülsen durch den Nährstoffmangel beeinträchtigt wird.

Im Vergleich zum Nährstoffgehalt der Hülsen der optimal ernährten Pflanzen wurde beispielsweise der Mg-Gehalt bei Mg-Mangel, der Fe-Gehalt bei Fe- und bei multiplen Spurennährstoff-Mangel trotz der Blattapplikation signifikant vermindert. Auch der Mn- und der Zn- Gehalt der Hülsen ist bei Mn- und Zn-Mangel zurückgegangen. Er wurde aber mit der Blattdüngung auf das Niveau der Kontrollpflanzen angehoben.

Die Konzentration anderer Nährstoffe wurde kaum beeinflusst bzw. in der Tendenz als Ergebnis des Konzentrationseffektes erhöht. Über ähnliche Ergebnisse berichtete LUYINDULA (1988) aus seinen Untersuchungen zur Wirkung der Mikronährstoff-Unterversorgung auf das Wachstum und die Ertragsbildung von Buschbohnenpflanzen.

Da je nach Mangelsituation ein erheblicher Rückgang des Hülsenertrages (von 15% bis zu 70%) eintrat, ist die Zunahme der Gehaltswerte offensichtlich eine Folge des Konzentrationseffektes. Nach Angaben von ENDO et al. (1990) zur Entwicklung der Hülsen von Buschbohne startet das Samenwachstum ca. 14 Tage nach Blühbeginn. Aus Untersuchungen von DORNBOS und McDONALD (1986) an Soja ist bekannt, daß fast die gesamte Trockensubstanzbildung der Samen (97%) in der Zeit zwischen Beginn des Samenwachstums und Beginn der Samenreife stattfindet und daß parallel dazu eine starke Zunahme des Mineralstoffgehaltes zu verzeichnen ist.

Auch SLIPCEVIC et al. (1993) fand in Untersuchungen an Soja heraus, daß die höchste Nährstoffeinlagerung in den Samen mit der höchsten TS-Akkumulation zusammenfiel. In der Samenentwicklungsphase, in der beispielsweise das Frischgewicht der Samen die höchsten Zuwachsraten aufwies (von 200 mg auf mehr als 500 mg innerhalb von 2 bis 4 Wochen in Abhängigkeit von der Sorte), war auch die Nährstoffeinlagerung in den Samen am höchsten. Es ist daher nicht verwunderlich, daß eine unzureichende Nährstoffversorgung in dieser Entwicklungsphase Ertragseinbusse und /oder die Qualitätsminderung der Hülsen nach sich zieht.

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Hülsen befanden sich gerade im Anfangsstadium des Samenwachstums und hatten zum Versuchsende noch nicht die Größe erreicht, die eine maximale Nährstoffakkumulation ermöglicht hätte. Die ermittelten Gehaltswerte sind deshalb in ihrer Aussagekraft als Qualitätskriterium eingeschränkt.

Aus diesem Grunde wurde zur Beurteilung der Effizienz der verwendeten Blattdünger hinsichtlich ihrer Beeinflussung der Qualität der Ernteprodukte dem Nährstoffgehalt der ausgereiften Samen der Vorrang gegeben. Die Nährstoffkonzentration der Samen wurde durch die unterschiedliche N-Düngergabe kaum verändert. Die während der Kornfüllungsphase durchgeführten Blattapplikationen N-haltiger Dünger blieben auch ohne Einfluß auf die Nährstoffeinlagerung in die Samen. Im Vergleich zur optimalen Nährstoffversorgung verminderte der Mg- und Mikronährstoffmangel die Mg- und Fe-Konzentration der Samen. Eine Anhebung des Gehaltes auf das Niveau der Kontrolle durch die während der Kornfüllungsphase durchgeführten Blattdüngungsmaßnahmen konnte erreicht werden. Es muß aber ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die Abnahme des Mg- und Fe-Gehaltes der Samen, auch wenn sie behandlungsbedingt und statistisch gut gesichert ist, als Qualitätskriterium nicht überbewertet werden darf.

Die ermittelten Gehaltswerte für Mg und Fe wie auch für die anderen Nährstoffe liegen im Normalbereich und sind mit anderen Angaben über die Nährstoffzusammensetzung von Buschbohnsensamen aus der Literatur vergleichbar (KAY, 1979; NEUMANN und GISKIN, 1979; 1980; FAGERIA, 1989). Die vor zwei Dekaden von KENDRICK (KANNAN, 1980) gemachte Feststellung, die hier wiedergegeben wird, *"We must increase agricultural output if we are to provide food and fibre for an expanding world population. But, as energy sources become more restricted and costly, and great efforts are required to maintain the quality of the environment, it is evident that we will need new knowledge and different agricultural technologies. This is relevant to the technology of feeding plants through the leaves"*, hat nicht an Aktualität verloren.

Aus ökonomischen Gründen wie auch aus ökologischen Gesichtspunkten werden künftig alle Möglichkeiten zu erforschen sein, die die Produzenten in die Lage versetzen werden, *"den Nährstoffaufwand je Produkteinheit"* niedrig zu halten (RUPPE und PODLESACK, 1992a). Hierzu kann auch die Blattapplikation als Düngungsverfahren einen Beitrag leisten, wie in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden konnte.

7 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, die Auswirkungen verminderten N-, Mg- und Spurenelement-Angebotes auf Wachstum und Ertrag von *Phaseolus vulgaris* zu erfassen und die Wirkung verschiedener N-, Mg- und Mikronährstoff-Blattdünger als kompensatorische Maßnahmen zu untersuchen. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen die Zusammensetzung der Nährstoffträger und der Applikationszeitpunkt. Dieser ist einerseits vom Ernährungszustand (präventive oder kurative Blattdüngung), andererseits aber auch vom Entwicklungsstadium der Pflanzen (Applikation während des vegetativen Wachstums oder während der generativen Phase) abhängig.

In Hydrokulturversuchen unter definierten und kontrollierten Wachstumsbedingungen in einer Klimakammer (Kurzzeitversuche) wurden nach der Differenzmethode elementspezifische (Mg-, Fe-, Mn- oder Zn-Mangel) wie auch komplexe (gleichzeitiger Mangel an Fe, Mn und Zn) Nährstoffmangelsituationen simuliert und die Wirkung präventiver bzw. kurativer Blattapplikationen auf Wachstum und Ertrag sowie auf die Nährstoffaufnahme untersucht.

Unter Verwendung von Quarzsand bzw. eines relativ N-armen Bodens wurden in einem Glashaus Langzeitversuche (Anzucht der Pflanzen bis zur Samenreife) mit dem Ziel angelegt, die Wirkung eines Nährstoffangebotes über das Blatt auf die Ertragsbildung und die Ertragskomponenten sowie auf die Qualität der Samen zu erfassen, wenn die Pflanzen dem Mg- bzw. Mikronährstoff-Mangel während der generativen Phase ausgesetzt waren. In weiteren Versuchen galt die Untersuchung der Wirkung der Blattapplikation N-haltiger Dünger während der Kornfüllungsphase auf den Samenertrag und die Samenqualität bei unterschiedlicher N-Düngung und in Verbindung mit der N₂-Fixierung. Zusammengefaßt wurden folgende Ergebnisse erzielt.

7.1 *Kurzzeitversuche*

1. Auf ein unzureichendes Mg-Angebot im Nährmedium reagierten die Pflanzen mit der Ausbildung von Mg-Mangelsymptomen. Abweichend von den Literaturangaben traten die hier beobachteten Symptome (Interkostalnekrosen) nicht zuerst an den älteren, sondern an mittleren, noch im Wachstum befindlichen Blättern auf, bevor sie die jüngeren erfaßten. Die älteren und ältesten Blätter blieben bis zum Versuchsende gesund und symptomfrei.
2. Bei der elementspezifischen Mikronährstoff-Unterversorgung der Pflanzen entwickelten die Fe-Mangelpflanzen eine typische Fe-Chlorose. Als Zeichen von Mn- bzw. Zn-Mangel trat stark verspätet eine schwach ausgeprägte Chlorose auf den jüngsten Blättern auf. Bei gleichzeitigem Fe-, Mn- und Zn-Mangel überdeckte die Fe-Chlorose die Mn- und Zn-Mangelsymptome.
3. Durch ein unzureichendes Nährstoffangebot im Jugendstadium wurden die Pflanzen in ihrem vegetativen Wachstum beeinträchtigt. Dies äußerte sich in der Verminderung der Wuchshöhe und der Blattfläche sowie des TS-Ertrages der verschiedenen Fraktionen.
4. Noch stärker als zur Zeit des vegetativen Wachstums reagierten die Pflanzen während der generativen Phase auf das verminderte Nährstoffangebot. Der Ernährungszustand blieb zwar ohne Einfluß auf den Eintritt der Pflanzen in die generative Phase, der anhaltende Nährstoffmangel bewirkte jedoch das Abwerfen des größten Teils der gebildeten Blüten, so daß sich keine Hülsen entwickeln konnten.
5. Durch ein kompensatorisches Nährstoffangebot in Form eines konfektionierten Blattdüngers konnten die Auswirkungen des Nährstoffmangels auf Wachstum und Ertrag erfolgreich ausgeglichen werden, wenn die Blattapplikation präventiv erfolgte. Dies trifft insbesondere für die Mg-Blattdünger zu. Die Blattapplikation der verwendeten Mikronährstoff-Dünger war bei Fe- Mangel bzw. bei multipler Mikronährstoff-Unterversorgung, im Gegensatz zu Mn- bzw. Zn-Mangel, nicht ausreichend wirksam. Unter den vorliegenden Versuchsbedingungen erwies sich das Eisen als jenes Element, das auf das Wachstum und die Ertragsbildung der Pflanzen am stärksten limitierend wirkte.

6. Für die Höhe des Hülsenenertrages gab die Anzahl der Hülsen den Ausschlag, da das durchschnittliche Hülsengewicht nur unwesentlich beeinflußt wurde.
7. Die verminderte Nährstoffverfügbarkeit im Nährmedium spiegelte sich in einer Senkung der Konzentration des jeweils im Minimum befindlichen Nährstoffs im Blatt bis in den Ertragsgrenzbereich wider. Mit Ausnahme des Fe-Gehaltes im Blatt bei Fe-Mangel bzw. bei multipler Spurennährstoff-Unterversorgung, der trotz der Blattapplikation relativ niedrig war (um 100 bis 150 µg/g TS gegenüber 250 bis 300 µg/g TS bei der Vollversorgung), konnte der Nährstoffgehalt durch die Blattdüngungsmaßnahmen auf das Niveau der Kontrolle angehoben werden.
8. Die Nährstoffgehalte der Hülsen deuten auf eine Beeinträchtigung der Einlagerung der im Nährmedium unzureichend verfügbaren Mineralstoffe hin, die auch durch die Blattapplikation nicht in jedem Fall ausgeglichen werden konnte. Dies trifft besonders für Mg und Fe zu.
9. Hinsichtlich des Wachstums und der Ertragsbildung konnten, sowohl bei den Mg- als auch bei den Mikronährstoff-Blattdüngern keine von der Zusammensetzung abhängigen Wirksamkeitsunterschiede festgestellt werden. Bei den Mg-Düngern erwies sich die präventive der kurativen Blattapplikation gegenüber als hochsignifikant überlegen. Derart deutliche Wirksamkeitsunterschiede in Abhängigkeit vom Applikationstermin blieben bei den Mikronährstoff-Blattdüngern aus.

7.2 *Langzeitversuche*

1. Ein Mg- und Mikronährstoffangebot von nur 10% im Vergleich zur Vollversorgung im Jugendstadium konnte ein ungestörtes vegetatives Wachstum der Pflanzen gewährleisten.
2. Eine absolute Mg- bzw. Mikronährstoff-Unterversorgung der Pflanzen während der generativen Phase beeinträchtigte die Ertragsbildung derart, daß der Samenertrag um bis zu 80% zurückging.
3. Durch die während der reproduktiven Phase durchgeführten Blattapplikationen konnte der Rückgang des Samenertrages so erfolgreich verhindert werden, daß zwischen der Vollversorgung und den behandelten Mangelvarianten ein Ertragsunterschied von nur noch 10% bestand.
4. Die Ertragswirksamkeit der Blattdüngungsmaßnahmen wurde der Verminderung der Abscission von reproduktiven Organen (Blüten und/oder Hülsen) zugeschrieben. Dadurch konnten ebenso viele Hülsen wie bei optimalem Nährstoffangebot über die Wurzeln während der generativen Entwicklung zur Reife gelangen. Die anderen Ertragskomponenten (die Anzahl der Samen/Hülse und das durchschnittliche Samengewicht) wurden durch die Behandlungen nicht beeinflusst.
5. Unabhängig von der Behandlung lag der Rohproteingehalt der Samen bei 20%. Obwohl die Mg- und die Fe-Konzentration der Samen trotz der Blattapplikation hochsignifikant vermindert wurde, lag sie im normalen Konzentrationsbereich für Buschbohne. Eine Qualitätsminderung ist deshalb ausgeschlossen.
6. Trotz einer erfolgreichen Impfung mit Knöllchenbakterien blieben die Pflanzen ohne N-Startdüngung im Vergleich zu denjenigen, die eine Startdüngung in einer Äquivalentmenge von 40 kg N/ha erhalten haben, im Wachstum und in der Ertragsbildung hochsignifikant zurück. Damit wurde die mehrfach gemachte Beobachtung erneut bestätigt, daß die Buschbohne aufgrund ihrer niedrigen Leistung in der Stickstoffbindung trotz der N₂-Fixierung eine N-Düngung benötigt, um ihr Ertragspotential voll entfalten zu können.

7. Gemessen am Samenertrag konnte eine Nachdüngung zu Blühbeginn die negativen Auswirkungen des N-Mangels während des Jugendstadiums nicht mehr ausgleichen. Offensichtlich blieb die nachgedüngte N-Menge aufgrund unzureichender Aufnahme im Boden ungenutzt.
8. Die Blattapplikation erwies sich gegenüber der Nachdüngung als effizienter. Durch die Kombination Nachdüngung zu Blühbeginn und Blattapplikation während der Kornfüllungsphase wurde die höchste Ertragswirksamkeit unter der Voraussetzung erzielt, daß die Pflanzen neben der N₂-Fixierung eine N-Startdüngung erhalten hatten.
9. Die Ertragswirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen wurde der Verminderung der Abscission von reproduktiven Organen und somit der Erhöhung der Anzahl der Hülsen, die zur Reife gelangten, zugeschrieben.
10. Die Qualität der Samen (Rohprotein- und Mineralstoffgehalt) wurde durch die Prüffaktoren N-Düngung (N₂-Fixierung, Startdüngung, Nachdüngung zu Blühbeginn) und Blattapplikation während der generativen Entwicklung nicht signifikant beeinflußt.
11. Hinsichtlich des Ertrages und der Samenqualität wurden sowohl bei N- als auch bei Mg- und Mikronährstoff-Blattdüngern keine von der Zusammensetzung abhängigen Wirksamkeitsunterschiede festgestellt.

8 Literaturverzeichnis

- ABADIA, A., AMBRARD-BRETTEVILLE, F., REMY, R.; TREMOLIERE, A. (1988): Iron-deficiency in pea leaves: effect on lipid composition and synthesis. *Physiol. Plant.* 72, 713-717.
- ABADIA, J., (1992): Leaf response to Fe deficiency: a review. *J. Plant Nutr.* 15, 1699-1713.
- ABD EL HADI, A.H., ASY, K.G., DÖRING, H.-W., KADR, M.S., MOHAMED, Y. H., MOUSTAFA, A.A.; TAMA, M.E. (1986): Effect of foliar fertilization in different crops under Egyptian conditions. In: *Developments in Plant and Soil Sc. Vol. 22, Foliar Fertilization*, 126-141.
- ABD EL HADI, A.H. (1987): Effect of Zn, Mn, Fe-Chelates and some foliar fertilizers on the yield of different field and horticultural crops in Egypt. *Proc. Of the Symposium „Application of special fertilizers“*. EL-FOULY, M.M. (Ed.), 53-57. Alexandria/Egypt.
- ABD EL MOTALEB, M.A.; EL-FOULY, M.M.; KRIEM, H.M.; NOFAL, O.A. (1995): Response of soybean to micronutrient foliar fertilization of different formulations under different soil conditions. I. Yield responses. *Egypt. J. Physiol. Sci.* 15, 131-140.
- ACOSTA-GALLEGOS, J.A.; ADAMS, M.W. (1991): Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars under drought stress. *J. Agric. Sci. Camb.* 117, 213-219.
- ADAMS, F.; HENDERSON, J.B. (1962): Magnesium availability as affected by deficient and adequate levels of potassium and lime. *Soil Sc. Soc. Proc.* 65-68.
- ADAMS, G.P.; BROOKS, J. (1986): An integrated approach to trace element deficiency diagnosis and treatment. *Comptes rendus 2^e Symposium International sur le Rôle des Oligoéléments en Agriculture*, 235-245, Toulouse/France.
- AFZA, R.; HARDARSON, G. ZAPATA, F.; DANSO, S.K.A. (1987): Effects of delayed soil and foliar nitrogen fertilization on yield and N₂-fixation of soybean. *Plant and Soil* 97, 361-368.
- AGHATISE, V.O.; TAYO, T.O. (1995): Response of soybean (*Glycine max*) to lime application in an acid rain-forest soil of Nigeria. *Indian J. Agric. Sci.* 65, 883-887.
- ALEXANDER, A. (1986): Crop need specific foliar application of micronutrients. *Comptes rendus 2^e Symposium International sur le Role des Oligoéléments en Agriculture*, 309-323, Toulouse/France.

-
- ALEXANDER, A. (1986): Optimum time of foliar nutrient sprays. Foliar Fertilization. ALEXANDER, A. (Ed.), 44-60.
- ALEXANDER, A.; SCHROEDER, M. (1987): Modern trends in foliar fertilization. J. Plant Nutr. 10, 1391-1399.
- ALLOUSH, G.A., Le BOT, J., SANDERS, F.E., KIRKBY, E.A. (1990): Mineral nutrition of chickpea plants supplied with NO₃⁻ or NH₄-N. I. Ionic balance in relation to iron stress. J. Plant Nutr. 13, 1575-1590.
- AMBERGER, A. (1973): Die Rolle des Mangans im Stoffwechsel der Pflanzen. Agrochimica 17, 69-83.
- AMBERGER, A. (1980): Foliar application of micronutrients: uptake and incorporation into metabolism. Micronutrients and Plant Nutrition. EL-FOULY, M.M. (Ed.), Proc. 2nd Workshop, Mariut-Egypt, 1979, 47-60.
- ANONYM (1983): Micronutrients. FAO-Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 7, FAO Rome.
- ANONYM (1984): Fertilizer and Plant Nutrition Guide. FAO-Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 9, FAO Rom.
- ANONYM (1989): Fertilizers and Food Production. FAO Rom.
- ANONYM (1990): Iron symposium. Progress made, but where are the Breeders?. Micronutrient News and Information 10, 1-11.
- ANONYM (1991): Traditionelle Nahrungsmittel in Afrika, Stiefkinder der Entwicklungspolitik. Entwicklung und Ländlicher Raum 1, S. 2.
- ANONYM (1992): Grenzen der Landwirtschaft: der Ackerbau in den ökologisch benachteiligten Gebieten der Erde. Die faszinierende Welt der Wissenschaft. Vision 2000, 64-69.
- ANONYM (1992): Prevention and correction of micronutrient deficiencies. Micronutrient News and Information 12, 1-11.
- ANONYM (1993): Agriculture towards 2010, FAO.
- ANONYM (1998): UNO: Migration und Bevölkerung. Neue Langzeitprognose zur weltbevölkerung.
- ARMOUR, J.D., ROBSON, A.D.; RITCHIE, G.S.P. (1990): Prediction of zinc deficiency in navy beans (*Phaseolus vulgaris*) by soil and plant analyses. Austr. J. Exp. Agric. 30, 557-563.

- ASHOUR, N.I.; THALLOOTH, A.T. (1983): Effect of soil and foliar application of nitrogen during pod development on the yield of soybean (*Glycine max* L. Merr.) plants. *Field Crops Research* 6, 261-266.
- ASTARAEI, A.R.; CHAUHAN, R.P.S. (1991): Relative affinity of calcium and magnesium and its impact on soil sodification. *Agrochimica* 35, 480-489.
- BALDOCK, J.O.; SCHULTE E.E. (1996): Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. *Agron. J.* 88, 448-456.
- BANGERTH, F. (1989): Dominance among fruits/sinks and the search for a correlative signal. Minireview. *Physiol. Plant.* 76, 608-614.
- BARKER, A..V. (1979): Nutritional factors in photosynthesis. *J. Plant Nutr.* 1, 309-342.
- BASSO, C., SUZUKI, A., WILMS, F.W.W.; STUKER, H. (1990): Control of zinc deficiency in apple orchards in southern Brazil. *Plant Nutrition, Physiology and Applications*. BEUSICHEM van, M.L. (Ed.), 257-260.
- BAUR, P.; SCHÖNHER J. (1996): Die Aufnahme systemischer Wirkstoffe über Blätter: Grundlagen und Optimierung. *Gartenbauwissenschaft* 61, 101-115.
- BERGMANN, W. (1980): Agrochemische Aspekte der Wasser- und Nährstoffausnutzung der Pflanzen im Unterboden. *Tagungsbericht AdL DDR* 180, 127-134.
- BERGMANN, W. (1983): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB. G. FISCHER Verlag Jena.
- BERGMANN, W.; NEUBERT, P. (1976): Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB. G. FISCHER Verlag Jena.
- BERINGER, J.E., BISSELING, T.A.; T.A. LaRUE (1988): Improving symbiotic nitrogen fixation through the genetic manipulation of rhizobium and legume host plants. *Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture. World crops: cool season food legumes*. SUMMERFIELD, R.J. (Ed.), 691-702. Kluwer Academic Publishers Dordrecht/Boston/ London.
- BERNDT, G.F. (1987): Efficiency of foliar sprays as influenced by the inclusion of surfactants. Review. *Research and Development in Agriculture* 4, 129-139.
- BERTIC, B., VUKADINOVIC, V. KOVACEVIC, V.; JURIC, I. (1988): Influence of liming on soil acidity and iron availability. *J. Plant Nutr.* 11, 1361-1367.
- BEUSICHEM van, M.L., KIRKBY, E.A.; BAAS, R. (1988): Influence of nitrate and ammonium nutrition on the uptake, assimilation, and distribution of nutrients in *Ricinus communis*. *Plant Physiol.* 86, 914-921.

- BEVERLY, R.B. (1987a): Comparison of DRIS and alternative nutrient diagnostic methods for soybean. J. Plant Nutr. 10, 901-920.
- BEVERLY, R.B. (1987b): Modified DRIS methods for simplified nutrient diagnosis of 'Valencia' oranges. J. Plant Nutr. 10, 1401-1409.
- BIENFAIT, H.F. (1996): Is there a metabolic link between H^+ -excretion and ferric reduction by roots of Fe-deficient plants? A viewpoint. J. Plant Nutr. 19, 1211-1222.
- BIENFAIT, H.F.; SCHEFFERS, M.R. (1992): Some properties of ferric citrate relevant to the iron nutrition of plants. Plant and Soil 143, 141-144.
- BIENFAIT, H.F., WEGER de, L.A.; KRAMER, D. (1987): Control of the development of iron-efficiency reactions in potato as a response to iron deficiency is located in the roots. Plant Physiol. 83, 244-247.
- BINNIE, R.C.; CLIFFORD, P.E. (1981): Flower and pod production in *Phaseolus vulgaris*. J. Agric. Sci. Camb. 97, 397-402.
- BOOTE, K.J.; GALLAHER, R.N.; ROBERTSON, W.K.; HINSON, K.; HAMMOND, L.C. (1978): Effect of foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybeans. Agron. J. 70, 787-791.
- BOUMA, D., DOWLING, E.J.; WAHJOEDI, H. (1979): Some effects of potassium and magnesium on the growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). Ann. Bot. 43, 529-538.
- BOUTTIER, C.; MORGAN, D.G. (1992): Development of oilseed rape buds, flowers, and pods in vitro. J. Exp. Bot. 43, 1089-1096.
- BOYER, J. (1978): Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et subhumides. Initiations Documentations Techniques n° 35, 13-155.
- BREVEDAN, R.E.; EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E. (1978): Influence of N nutrition on flower and pod abortion and yield of soybeans. Agron. J. 70, 81-84.
- BROWN, J.C. (1979): Effect of zinc stress on factors affecting iron uptake in navy bean. J. Plant Nutr. 1, 171-183.
- BROWN, J.C.; JOLLEY von, D. (1988): Strategy I and strategy II mechanisms affecting iron availability to plants may be established too narrow or limited. J. Plant Nutr. 11, 1077-1098.
- BRUN, W.A.; BETTS, K.J. (1984): Source/sink relations of abscising and nonabscising soybean flowers. Plant Physiol. 75, 187-191.

- BUCHER, R. (1979): Die Blattanalyse im Rebenanbau. Kritische Betrachtung zur Interpretation ihrer Ergebnisse und Hinweise für Ihre Durchführung. Landw. Forschung 32, 47-54.
- BUERKERT, A., CASSMAN, K.G., de la PIEDRA, R.; MUNNS, D.N. (1990): Soil acidity and liming effects on stand, nodulation and yield of common bean. Agron. J. 82, 749-754.
- BURDICK, B. (1993): Landwirtschaft im Treibhauszeitalter. Neue Motive für die Lösung alter Probleme. Ökologie und Landbau 87, 5-8.
- BURGHARDT, H.; ELLERING, K. (1986): Verträglichkeit und Wirkung von Blattdüngungsmaßnahmen bei Gemüsekulturen. Gartenbauwissenschaft 2, 58-62.
- BURINGH, P. (1982): Potentials of world soils for agricultural production. Transactions 12th ISSS Congress, New Delhi, India, 33-41.
- BUSADA, C.J., MILLS, H.A.; JONES, J.B. (1984): Influence of foliar-applied NO₃ and NH₄ on dry matter and nitrogen accumulation in snap beans. HortSci. 19, 79-80.
- BUSSLER, W. (1970): Unterschiede in der Entwicklung von Magnesium- und Kaliummangelsymptomen. Kali-Briefe 10, 1-14.
- BUSSLER, W. (1980): Anatomical-histological investigations on plants suffering from micronutrient deficiencies. Micronutrients and Plant Nutrition. EL-FOULY, M.M. (Ed.), Proc. 2nd Workshop, Mariut-Egypt, 1979, 21-46.
- BUSSLER, W. (1987): Mangelerscheinungen an höheren Pflanzen. Sammelbericht, Literatur 1983-1986. Z. Pflanzenkrankheiten Pflanzenschutz 94, 532-555.
- BUTTERY, B.R.; PARK, S.J.; FINDLAY, W.I. (1987): Growth and yield of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in response to nitrogen, phosphorous and potassium fertilizer and inoculation with rhizobium. Can. J. Plant Sci. 67, 425-432.
- CAESAR, K. (1986): Einführung in den Tropischen und Subtropischen Pflanzenbau. DLV Frankfurt/M.
- CAKMAK, I. (1987): Morphologische und physiologische Veränderungen bei Zinkmangel. Diss. Universität Hohenheim.
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. (1986a): Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. I. Zinc deficiency-enhanced uptake rate of phosphorous. Physiol. Plant. 68, 483-490.
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. (1986b): Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. II. Evidence of impaired shoot control of phosphorus uptake and translocation under zinc deficiency. Physiol. Plant. 68, 491-496.

- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. (1986c): Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants. *Physiol. Plant.* 70, 13-20.
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. (1988a): Enhanced superoxide radical production in roots of zinc deficient plants. *J. Exp. Bot.* 39, 1449-1460.
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. (1988b): Increase in membrane permeability and exudation in roots of zinc deficient plants. *J. Plant Physiol.* 132 (356-361).
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. (1990): Decrease in nitrate uptake and increase in proton release in zinc deficient cotton, sunflower and buckwheat plants. *Plant and Soil* 129, 261-268.
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. (1992): Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiol.* 98 (1222-1227).
- CAKMAK, I., MARSCHNER, H.; BANGERTH F. (1989): Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and level of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *J. Exp. Bot.* 40, 405-412.
- CAKMAK, I., HENGELER, C.; MARSCHNER, H. (1994): Changes in phloem export of sucrose in leaves in response to phosphorus, potassium and magnesium deficiency in bean plants. *J. Exp. Bot.* 45, 1251-1257.
- CAKMAK, I., YILMAZ, A., KALAYCI, M., EKIZ, H. TORUN, ERENOGLU, B.; BRAUN, H.J. (1996): Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in Central Anatolia. *Plant and Soil* 180, 165-172.
- CAO, W.; TIBBIT, T.W. (1992): Growth, carbon dioxide exchange and mineral accumulation in potatoes grown at different magnesium concentrations. *J. Plant Nutr.* 15, 1359-1371.
- CHAMEL, A. (1984): Recherches sur l'absorption foliaire effectuées à l'aide de cuticules isolées et d'une technique originale de microanalyse. *Proc. VIth Intern. Colloq. for the Optimization of Plant Nutrition* 1, 117-123, Montpellier/France.
- CHAMEL, A. (1986): Survey of different approaches to determine the behaviour of chemicals applied to aerial parts of plants. *Foliar Fertilization*. ALEXANDER, A. (Ed.), 66-86.
- CHEN, C.L.; SUNG, F.J.M. (1982): Effect of source-sink manipulation on nitrogen fixation in mungbeans. *Field Crops Res.* 5, 225-231.
- CHRISTENSEN, N.W.; JACKSON, T.L. (1981): Potential for phosphorus toxicity in zinc-stressed corn and potato. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 45, 904-909.

-
- CLARK, R.B., PIER, P.A., KNUDSEN, D.; MARANVILLE, J.W. (1981): Effect of trace element deficiencies and excesses on mineral nutrients in sorghum. *J. Plant Nutr.* 3, 357-374.
- CLARK, R.B., RÖMHELD, V.; MARSCHER, H. (1988): Iron uptake and phytosiderophore release by roots of sorghum genotypes. *J. Plant Nutr.* 11, 663-676.
- CLIFFORD, P.E., PENTLAND, B.S.; BAYLIS, A.D. (1992): Effects of growth regulators on reproductive abscission in faba bean (*Vicia faba* cv. Troy). *J. Agric. Sci. Camb.* 119, 71-78.
- COOPER, P.J.M. LEAKEY, R.R.B., RAO, M.R.; REYNOLD, L. (1996): Agroforestry and the mitigation of land degradation in the humid and sub-humid tropics of Africa. *Exp. Agric.* 32, 235-290.
- DALE, J.E. (1988): The control of leaf expansion. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 39, 267-295.
- DANG, Y.P., EDWARDS, D.G., DALAL, R.C.; TILLER, K.G. (1993): Identification of an index tissue to predict zinc status of wheat. *Plant and Soil* 154, 161-167.
- DE MOURA, R.L.; FOSTER, K.W. (1986): Effects of cultivar and flower removal treatments on the temporal distribution of reproductive structures in bean. *Crop Sci.* 26, 362-367.
- DHILLON, K.S., YAGODEEN, B.A.; PLESHKOV, A.C. (1983): Micronutrients and nitrogen metabolism. I. Effects of different levels of micronutrients on nitrogen constituents in maize. *Plant and Soil* 73, 355-363.
- DHILLON, K.S., YAGODEEN, B.A.; VERNICHENKO, V.A. (1987): Micronutrients and nitrogen metabolism. II. Effect of micronutrients on the assimilation of ammonium and nitrate ions by maize (*Zea mays* L.). *Plant and Soil* 103, 51-55.
- DHINDSA, R.S.; MATOWE, W. (1981): Drought tolerance in two mosses correlated with enzymatic defence against lipid peroxidation. *J. Exp. Bot.* 32, 79-91.
- DÖRING, H.-W. (1987): Foliar fertilization: an efficient method for controlling micronutrient deficiencies on calcareous and saline soils in aride lands. *Proc. Of the Symposium „Application of special fertilizers“*. EL-FOULY, M.M. (Ed.), 23-38. Alexandria/Egypt.
- DÖRING, H.-W., DENKER, B., SPECK, T.; HUDASCH, G. (1986a): The micronutrient supply of legume species related to saline and waterlogging conditions. *Proc. 2nd International Symposium on the role of the micronutrients in Agriculture*, 355-362. Toulouse/France.

- DÖRING, H.-W.; GERICKE, R. (1986): The efficiency of foliar fertilization in arid and semiarid regions. In: Foliar Fertilization. ALEXANDER, A. (Ed.), 96-125.
- DÖRING, H.-W.; GERICKE, R. (1988): Salinity effects on translocation and distribution of micronutrients in plants. Proc. International Symposium on Plant Nutrition and Photosynthesis. Varna/Bulgaria (1987), Vol. 5, 17-24. Sofia/Bulgaria.
- DÖRING, H.-W., MATAR, Y.; ABDEL GAWAD, G. (1979): Leaf analysis survey of some deciduous fruit trees grown in Wadi Zamzam Libya. Proc. 3. Symposium of C.I.E.C., Water and fertilizer use for food production in arid and semiarid zones. Benghazi, Libya, 191-195.
- DORNBOS, D.L.; McDONALD, M.B. (1986): Mass and composition of developing soybean seeds at five reproductive growth stage. Crop Sci. 26, 624-630.
- EDMEADES, D.C. WHEELER; D.M.; CROUCHLEY, G. (1985): Effects of liming on soil magnesium on some soils in New Zealand. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 16, 727-739.
- EDWARDS, C.A. (1989): The importance of integration in sustainable agriculture systems. Agric., Ecosyst. Envir. 27, 25-35.
- EDWARDS, D.G.; KANG, B.T. (1978): Tolerance of cassava (*Manihot esculenta* Cranz) to high soil acidity. Field Crops Res. 1, 337-346.
- EGGER, K. (1990): Ökologischer Landbau (Ecofarming) als standortgemäße Bewirtschaftungsform am Beispiel von Rwanda, Togo und Madagaskar. Pflanzenproduktionskolloquium, FB 15, Institut für Acker- und Pflanzenbau der Technischen Universität Berlin (TUB).
- EGGER, K.; KORUS, U. (1995): Öko-Landbau in den Tropen. Alternative Konzepte. Buchreihe der Stiftung Ökologie und Landbau, C.F. Müller Verlag Heidelberg.
- EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E. (1976): Rate and dry matter accumulation in soybean seeds with varying source-sink ratios. Agron. J. 68, 371-374.
- EGMOND van, F.; AKTAS, M. (1977): Iron-nutritional aspects of the ionic balance of plants. Plant and Soil 48, 685-703.
- EL BASSAM, N. (1998): Sustainable Development in Agriculture – Global key Issues -. Landbauforschung Völkenrode 1, 1-11.
- EL-FOULY, M.M., FIRGANY, A.H., FAWZI, A.F.A.; EL-BAZ, F.K. (1986): The effect of amino acid chelates on yield of different crops in Egypt. In: Foliar Feeding of Plant with Amino Acid Chelates. ASHMEAD, D. (Ed.), Noyes Publications, USA.

- EL-FOULY, M.M.; AMBERGER, A.; FAWZI, A.F.A. (1988): Response of "Balady" orange to macro- and microelement fertilization in Egypt. *Agrochemica* 32, 27-51.
- EL-FOULY, M.M.; FAWZI, A.F.A.; MOBARAK, Z.M.; ALY, E.A.; ABDALLA, F.E. (1990): Micronutrient foliar intake by different crop plants, as affected by accompanying urea. *beusicheM van, m.l. (Ed.), Plant Nutrition, Physiology and Applications*. 267-273.
- ELOWAD, H.O.A., HALL, A.E.; JARRELL, W.M. (1987): Comparisons of ureide and acetylene reduction methods for estimating biological nitrogen fixation by glasshouse-grown cow pea. *Field Crops Res.* 15, 215-227.
- ENDO, M., MINAMIKAWA, T. YAMAUCI, D.; MITSUHASHI, W. (1987): Nitrogen mobilization and peptidase activities in pods of maturing *Phaseolus vulgaris* fruits. *J. Exp. Bot.* 38, 1988-1995.
- ENGELS, C.; MARSCHNER, H. (1992): Root to shoot translocation of macronutrients in relation to shoot demand in maize (*Zea mays* L.) grown at different root zone temperatures. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 155, 121-128.
- EVANS, J.L. (1993): *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge.
- FAGERIA, N.K. (1989): Effects of phosphorus on growth, yield and nutrient accumulation in the common bean. *Trop. Agric. (Trinidad)* 66, 249-255.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. (1997): Response of common bean, upland rice, corn, wheat and soybean to soil fertility of an oxisol. *J. Plant Nutr.* 20, 1279-1289.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. (1987): Phosphorus fixation in oxisol of central Brazil. *Fertilizers and Agriculture* 94, 33-37.
- FAGERIA, N.K.; De SOUZA, C.M.R. (1991): Upland rice, common bean, and cow pea response to magnesium application on oxisol. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 22, 1805-1816.
- FAGERIA, N.K., ZIMMERMANN, J.F.P.; BALIGAR, V.C. (1995): Lime and phosphorus interactions on growth and nutrient uptake by upland rice, wheat, common bean, and corn in an oxisol. *J. Plant Nutr.* 18, 2519-2532.
- FARDOSSI, A.; DANNEBERG, O.H. (1984): Untersuchungen zur Eisenphysiologie der Weinrebe im Zusammenhang mit der Chlorose. I. Eisenmangel- und Eisensteigerungsversuche mit der Rebe. *Die Bodenkultur* 35, 221-231.
- FAWZI, A.F.A., EL-FOULY, M.M.; ZAYED, A.A. (1989): Effect of micronutrients application on faba bean yield. *African J. Agric. Sci.* 13, 111-123.
- FERNANDEZ-LOPEZ, J.A., LOPEZ-ROCA, J.M.; ALMELA, L. (1993): Mineral composition of iron chlorotic citrus lemon L. leaves. *J. Plant Nutr.* 16, 1395-1407.

-
- FERRANDON, M.; CHAMEL, A. (1988): Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic form. J. Plant Nutr. 11, 247-263.
- FINCK, A. (1980): Determination of micronutrient requirement by soil and plant analysis. Micronutrients and Plant Nutrition. EL-FOULY, M.M. (Ed.), Proc. 2nd Workshop, 13-24, Mariut-Egypt, 1979.
- FINCK, A. (1986): Düngung und Bodenfruchtbarkeit in den Tropen und Subtropen. Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern Bd 3, 249-284.
- FINCK, A. (1967): Grenzwerte der Nährelementgehalte in Pflanzen und ihre Auswertung zur Ermittlung des Düngerbedarfs. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 119, 197-208.
- FINK, S. (1991): Structural changes in conifer needles due to Mg and K deficiency. Fertilizer Res. 27, 23-27.
- FISCHER, E.G.; WALKER, D.R. (1985): The apparent absorption of phosphorus and magnesium from sprays applied to the lower surface of McIntosh apple leaves. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 65, 17-24.
- FISCHER, E.S. (1988): Frühsymptome eines Ozonschadens an der Buschbohne (*Phaseolus vulgaris* "Saxa") bei variiertem Magnesiumernährung. Diss. FB 15 TUB.
- FISCHER, E.S.; BREMER, E. (1993): Influence of magnesium deficiency on rates of leaf expansion, starch and sucrose accumulation, and net assimilation in *Phaseolus vulgaris*. Physiol. Plant. 89, 271-276.
- FORSTER, H. (1980): Einfluß von unterschiedlich starkem Magnesiummangel bei Gerste auf den Kornertrag und seine Komponenten. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 143, 627-637.
- FOURNIER, J.M., ALCANTARA, A.; de la GUARDIA, M.D. (1992): Organic acid accumulation in roots of two sunflower lines with a different response to iron deficiency. J. Plant Nutr. 15, 1747-1755.
- FRANCK v. E.; FINCK, A. (1980): Ermittlung von Zink-Ertragsgrenzwerten für Hafer und Weizen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 143, 38-46.
- FRANCO, A.A.; MUNNS, D.N. (1982): Nodulation and growth of *Phaseolus vulgaris* in solution culture. Plant and Soil 66, 161-171.
- FRANKE, G. (1992): Mensch, Natur und ständige landwirtschaftliche Bodennutzung im tropischen Klimabereich. Der Tropenlandwirt, Z. Landw. Tropen Subtropen, 93. Jahrgang, 159-167.

-
- FRANKE, W. (1968): Mechanisms of foliar penetration of solutions. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 19, 281-301.
- FREYE, E.; SCHILLING, G. (1983): Untersuchungen über die Abhängigkeit der Fruchtbildung bei Ackerbohnen von Assimilatbildung und Transport. *Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkd.* 27, 185-190.
- FROHNER, W. (1965): Die Technik der Blattdüngung. *Handbuch Pflanzenernähr. Düngung*, Bd. 3, Springer Verlag Wien, 128-153.
- GARCIA, R.L.; HANWAY, J.J. (1976): Foliar fertilization of soybean during the seed filling period. *Agron. J.* 68, 653-657.
- GEISLER, G. (1983): Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg.
- GERICKE, R. (1994): Auswirkungen hoher Substratsalinität bei unterschiedlich determinierten Cultivaren von *Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. ex Farw. Diss. FB 15. TU Berlin.
- GERZABEK, M. (1988): Die Pflanzenverfügbarkeit von Magnesium. *Die Bodenkultur* 39, 208-216.
- GERZABEK, M.; SCHAFFER, K. (1988): Der Einfluß von Kaliumdüngung und Kalkung auf die Pflanzenverfügbarkeit von Magnesium. *Die Bodenkultur* 39, 13-36.
- GETTIER, S.W., MARTENS, D.C.; BRUMBACK, T.B. (1985): Timing of foliar manganese application for correction of manganese deficiency in soybean. *Agron. J.* 77, 627-630.
- GHILDIYAL, M.C. (1992): Effect of urea on photosynthesis and yield in mungbean. *J. Agron. Crop Sci.* 168, 91-94.
- GILLER, K.E., AMIJEE, F., BRODRIC, S.J., McGRATH, S.P., MUSHIL, C., FDJE, O.T.; SMITHSON, J.B. (1992): Toxic concentrations of iron and manganese in leaves of *Phaseolus vulgaris* L. growing on freely-drained soils of pH 6.5 in Northern Tanzania. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 23, 787-792.
- GIORDANO, P.M.; MORTVEDT, J.J. (1978): Response of corn to Zn in orto and pyrophosphate fertilizers as affected by soil temperature and moisture. *Agron. J.* 70, 532-534.
- GISKIN, M.; EFRON, Y. (1986): Planting date and foliar fertilization of corn grown for silage and grain under limited moisture. *Agron. J.* 78, 426-429.

- GISKIN, M.L.; SANTOS, A.T.; ETCHEVERS, J.D. (1984): Can the foliar application of essential nutrients decrease fertilizer inputs Proc. VIth Intern. Colloq. for the Optimization of Plant Nutrition, 1, 239-243, Montpellier/France.
- GRAHAM, P.H. (1981): Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L.: a review. Field Crop Research 4, 93-112.
- GRAHAM, P.H.; TEMPLE, S.R. (1984): Selection for improved nitrogen fixation in *Glycine max* (L.) Merr. and *Phaseolus vulgaris* L.. Plant and Soil 82, 315-327.
- GRAHAM, P.H.; ROSAS, J.C. (1977): Growth and development of indeterminate bush and climbing cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. inoculated with *Rhizobium*. J. Agric. Sci., Camb. 88, 503-508.
- GRAHAM, P.H.; VITERI, S.E.; MACKIE, F.; VARGAS, A.T.; PALACIOS, A. (1982): Variation in acid soil tolerance among strains of *Rhizobium phaseoli*. Field Crop Res. 5, 121-128.
- GREENLAND, J.D. (1991): The contributions of soil science to society - Past, Present and Future. Soil Sci. 151, 19-23.
- GRIMME, H. (1973): Magnesium diffusion in soils at different water and magnesium contents. Z. Pflanzenernähr. und Bodenk. 134, 9-19.
- GRIMME, H. (1978): Wurzelsystem und Nährstoffanlieferung. Kali-Briefe 14, 79-89.
- GRIMME, H. (1981): Die Wirkung einer Mg-Düngung im Gefäßversuch bei verschiedenen K- und Kalkdüngung veränderten Al-Konzentrationen in der Bodenlösung. Kali-Briefe 15, 761-772.
- GRIMME, H. (1987): Die Wirkung einer Magnesiumblattdüngung auf Kornertrag und Einzelkorngewicht von Getreide. Sonderdruck VDLUFA-Schriftenreihe 20, 243-254.
- GRUNDON, N.J. (1980): Effectiveness of soil-dressing and foliar sprays of copper sulphate in correcting copper deficiency of wheat (*Triticum aestivum*) in Queensland. Austr. J. Exp. Agric. and Anim. Husb. 20, 717-723.
- GUPTA, U. (1991): Iron status of crops in Prince Edward island and effect of soil pH on plant iron concentration. Can. J. Soil Sci. 71, 197-202.
- GURI, A. (1983): Variation in glutathione and ascorbic acid content among selected cultivars of *Phaseolus vulgaris* prior to and after exposure to ozone. Can. J. Plant Sci. 63, 733-737.
- GUZMAN, M., DEL RIO, A.; ROMERO, L. (1992): A method for diagnosing the status of horticultural crops. I. Macronutrients. Agrochimica 36, 437-461.

- HAGIN, B.; TUCKER, B. (1982): Fertilization of dryland and irrigated soils. Springer Verlag, Berlin.
- HAMID, A. (1989): Effect of source manipulations on the dynamics of pod set and flower abscission in mungbean. *J. Agron. Crop Sci.* 163, 1-5.
- HAMPP, R. (1992): Comparative evaluation of the effects of gaseous pollutants, acidic deposition, and mineral deficiencies on the carbohydrate metabolism of trees. *Agric., Ecosyst. Envir.* 42, 333-364.
- HARTEMINK A.E., OSBORNE, J.F.; KIPS, P.A. (1996): Soil fertility decline and fallow effects in ferralsols and acrisols of sisal plantations in Tanzania. *Exp. Agric.* 32, 173-184.
- HECHT-BUCHHOLZ, C.; ORTMANN, U. (1986): Effect of foliar iron application on regreening and chloroplast development in iron-chlorotic soybean. *J. Plant Nutr.* 9, 647-659.
- HECHT-BUCHHOLZ, C., HSIN, S., WU, Y.P., CHENG, C.H.; LIN, L.P. (1987): Effect of different iron concentration on the regeneration of leaves, nodulation and agronomical characters in iron deficient soybean. *Proc. of the 6th ROC Symposium on Electron Microscopy*. Reprinted from the Memoirs of the College of Agric. 27, 66-81, National Taiwan University. Taipei, Taiwan.
- HECKMAN, J.R., INGERSON-MAHAR, J.M., LEE, D.L.; PROSTKO, E.P. (1993): Alfalfa responses to foliar and soil applications of manganese. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24, 559-572.
- HEITHOLT, J.J.; EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E.; MACKOWN, C.T. (1986): Role of assimilate and carbon-14 photosynthate partitioning in soybean reproductive abortion. *Crop Sci.* 26, 999-1004.
- HELLIN, E. URENA, R., LLORENTE, S., MARTINEZ, J.; ALCARAZ, C.F. (1986): Comparative study on the effectiveness of several iron compounds in the iron chlorosis in citrus plants. *Comptes rendus 2^e Symposium International sur le Rôle des Oligoéléments en Agriculture*, 209-224. Toulouse/France.
- HERNANDEZ, J.A., CORPAS, F.J. GOMEZ, M., DEL RIO, L.A.; SEVILLA, F. (1993): Salt-induced oxidative stress mediated by activated oxygen species in pea leaf mitochondria. *Physiol. Plant.* 89, 103-110.
- HERRIDGE, D.F.; DANSO, S.K.A. (1995): Enhancing crop legume N₂-fixation through selection and breeding. *Plant and Soil* 174, 51-82.
- HERRIDGE, D.F.; PATE, J.S. (1977): Utilization of net photosynthate for nitrogen fixation and protein production in an annual legume. *Plant Physiol.* 60, 759-764.

-
- HERRMANN, G.A. (1996): Ökolandbau und Welternährung- Strategie oder Utopie?. Ökologie und Landbau 98, 18-20.
- HILL, J. (1980): The remobilization of nutrients from leaves. J. Plant Nutr. 2, 407-444.
- HODGSON, A.S.; MACLEOD, D.A. (1987): Effects of foliar applied nitrogen fertilizer on cotton waterlogged in a cracking grey clay. Austr. J. Agric. Res. 38, 681-688.
- HODGSON, A.S.; MACLEOD, D.A. (1988): Seasonal and soil fertility effects on the response of waterlogged cotton to foliar-applied nitrogen fertilizer. Agron. J. 80, 259-265.
- HÖFNER, W.; GRIEB, R. (1979): Einfluß von Fe- und Mo-Mangel auf den Ionengehalt mono- und dikotylar Pflanzen unterschiedlicher Chloroseanfälligkeit. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 142, 626-638.
- HORIGUCHI, T. (1988): Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. VII. Effect of light intensity on manganese-induced chlorosis. J. Plant Nutr. 11, 235-246.
- HORST, W. (1995): The role of the apoplast in aluminium toxicity and resistance of higher plants: a review. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 158, 419-428.
- HOWARD, D.D.; GWATHMEY, C.O. (1995): Influence of surfactants on potassium uptake and yield response of cotton to foliar potassium nitrate. J. Plant Nutr. 18, 2669-2680.
- HSU, H.H.; ASHMEAD, H.D. (1984): Effect of urea and ammonium nitrate on the uptake of Fe through leaves. J. Plant Nutr. 7, 291-299.
- HSU, H.H.; ASHMEAD, H.D.; GRAFF, D.J. (1982): Absorption and distribution of foliar applied iron by plants. J. Plant Nutr., 5, 969-974.
- HUNDT, I.; PODLESACK, W. (1989): Untersuchungen zur N-Aufnahme über den Sproß bei Getreide. Empfehlung für die AHL-Applikation zur Vermeidung von Spritzschäden. Feldwirtschaft 30, 235-237.
- HUNDT, I., PODLESACK, W.; TESKE, W. (1990): Einfluß der Zusammensetzung der Düngertlösung für die N-Sproßapplikation und die N-Aufnahme und das Auftreten von Spritzschäden bei Weizen. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 34, 749-756.
- HUNGARIA, M.; NEVES, M.C.P. (1987): Cultivar and rhizobium strain effect on nitrogen fixation and transport in *Phaseolus vulgaris* L.. Plant and Soil 103, 111-121.
- JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. (1981): The dilution effect in plant nutrition studies. Adv. Agron. 34, 197-224.

-
- JOLLEY, V. D.; BROWN, J.C. (1991): Factors in iron-stress response mechanism enhanced by zinc-deficiency stress in Salinac, but not in Saginaw navy bean. *J. Plant Nutr.* 14, 257-265.
- JOLLEY, V.D., COOK, K.A., HANSEN, N.C.; STEVENS, W.B. (1996): Plant physiological responses for genotypic evaluation of iron efficiency in strategy I and strategy II plants. A review. *J. Plant Nutr.* 19, 1241-1255.
- JOLY, A. (1978): Apparition d'une déficience magnésienne sur le cotonnier au Nord du Bénin. *Coton et Fibres Tropicales* 33, 211-227.
- JONES C.A. (1981): Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 12, 785-794.
- JUNGK, A. (1968): Die Alkalität der Pflanzenasche als Maß für den Kationenüberschuß in der Pflanze. *Landw. Forschung* 120, 99-105.
- JUNGK, A. (1988): Toxikologie der Pflanzenernährung (Düngerschäden). In *Schadwirkungen auf Pflanzen. Lehrbuch der Pflanzentoxikologie*. 2. überarb. Aufl. Wissenschaftsverlag Mannheim/Wien/Zürich.
- JUO, A.S.R., DABIRI, A.; FRANZLUEBBERS, K. (1995): Acidification of a kaolinitic Alfisol under continuous cropping with nitrogen fertilization in West Africa. *Plant and Soil* 171, 245-253.
- JUO, A.S.R., FRANZLUEBBERS, K, DABIRI, A.; IKHILE, B. (1996a): Soil properties and crop performance on a kaolinitic Alfisol after 15 years of fallow and continuous cultivation. *Plant and Soil* 180, 209-217.
- JUO, A.S.R., FRANZLUEBBERS, K, DABIRI, A.; IKHILE, B. (1996b): Changes in soil properties during long-term fallow and continuous cultivation after forest clearing in Nigeria. *Agric. Ecosyst. Envir.* 56, 8-18.
- JUTZI, S.C. (1992): Die Nachhaltigkeit ackerbaulicher Nahrungsmittelproduktion in den humiden Tropen Zentral- und Westafrikas. *Der Tropenlandwirt, Z. Landw. Tropen Subtropen*, 93. Jahrgang, 137-151.
- KADMAN, A.; GAZIT, S. (1984): The problem of iron deficiency in mango trees and experiments to cure it in Israel. *J. Plant Nutr.*, 7, 283-290.
- KAINDL, K. (1953): Untersuchung über die Aufnahme von ³²P markiertem primärem Kaliumphosphat durch die Blattoberfläche. *Die Bodenkultur* 7, 324-353.
- KAMEL, M.S., METWALLY, A.A.; ABDALLA, S.T. (1987): Effect of soil and foliar fertilization on inoculated and uninoculated. soybeans. *J. Agron. Crop Sci.* 158, 217-226.

-
- KAMPRATH, E.J. (1970): Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. Proc. Soil Sci. Soc. America 34, 52-254.
- KAMPRATH, E.J. (1971): Potential detrimental effects from liming highly weathered soils to neutrality. Soil and Crop Science Society of Florida 31, 200-203.
- KANG, B.T., GRIMME, H.; LAWSON, T.L. (1985): Alley cropping sequentially cropped maize and cow pea with leucaena (*Leucaena leucocephala* LAM) on a sandy soil in southern Nigeria. Plant and Soil 63, 165-179.
- KANNAN, S. (1980): Mechanisms of foliar uptake of plant nutrients: accomplishments and prospects. J. Plant Nutr. 2, 717-735.
- KANNAN, S. (1988): Physiological responses associated with Fe-deficiency stress in different plant species. J. Plant Nutr. 11, 1185-1192.
- KANNAN, S.; MATHEW, T. (1970): Effects of growth substances on the absorption and transport of iron in plants. Plant Physiol. 45, 206-209.
- KARANJA, N.K.; WOOD, M. (1988): Selecting *rhizobium phaseoli* strains for use with beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Kenya: Effectiveness and tolerance of acidity and aluminium. Plant Soil 112, 7-13.
- KAUR, N.P. TAKKAR, P.N.; NAVYAR, V.K. (1984): Catalase, peroxidase, and chlorophyll relationships to yield and iron deficiency chlorosis in *cicer* genotypes. J. Plant Nutr. 7, 1213-1220.
- KAY, E.D. (1979): Food Legumes. Tropical Products Institute, Crop and Product Digest Nr 3, London.
- KIEKENS, L.; CAMERLYNCK, R. (1986): Influence d'une application foliaire d'oligoéléments chélatés sur la croissance juvénile et le développement du maïs. Comptes rendus 2^e Symposium International sur le Rôle des Oligoéléments en Agriculture, 209-224, Toulouse/France.
- KIRKBY, E.A.; MENGEL, K. (1967): Ionic balance in different tissues of the tomato plants in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. Plant Physiol. 42, 6-14.
- KIRKBY, E.A.; MENGEL, K. (1976): The role of magnesium in plant nutrition. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 2, 209-222.
- KIRSCHKE, D. (1993): Agrarpolitik im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung und Ressourcenschutz. Nahrungserzeugung und Umwelterhaltung - eine Herausforderung an die Agrarwissenschaft. Öffentliche Vortragsveranstaltung im Rahmen der Internationalen Grünen Woche 1993. Humboldt-Universität zu Berlin FB Agrar- und Gartenbauwissenschaft, S. 12-33.

- KISS, A.S.; POZSAR, B.I. (1975): Stimulative effect on protein synthesis of magnesium applied by foliage spray. Acta Agron. Acad. Sci. Hung. 24, 61-65. Zusammenfassung. In: Fertilizer Abstracts 8, N° 9.
- KLEIN, I.; WEINBAUM, S.A. (1985): Foliar application of urea to almond and olive: Leaf retention and kinetics of uptake. J. Plant Nutr. 8, 117-129.
- KOLESCH, H., OTKAY, M.; HÖFNER, W. (1984): Effect of iron chlorosis-inducing factors on the pH of the cytoplasm of sunflower (*Helianthus annuus*. Plant and Soil 82, 215-221.
- KOLLMANN, G.E.; STREETER, J.G.; JEFFERS, D.L.; CURRY, R.B. (1974): Accumulation and distribution of mineral nutrients, carbohydrate, and dry matter in soybean plants as influenced by reproductive sink size. Agron. J. 66, 549-554.
- KOVACS, G. (1986): The importance of environmental, plant and spray characteristics for a foliar nutrition program to be successful. In: Foliar Fertilization. ALEXANDER, A. (Ed.), 26-43.
- KRIEDEMANN, P.E. (1986): Stomatal and photosynthetic limitations to leave growth. Aust. J. Plant Physiol. 13, 15- 31.
- KRIEM, H.M.; ABDEL-MOTALEB, M.A.; EL-FOULY, M.M.; NOFAL, O.A. (1995): Response of soya bean to micronutrient foliar fertilization of different formulations under different soil conditions. II. Micronutrient content in leaves. Egypt. J. Physiol. Sci. 15, 141-147.
- LACH, G. (1970): System und Produkt im Verlauf der Vegetation bei Sommerweizen in Abhängigkeit von der Stickstoffernährung. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 126, 242-251.
- LAL, R.; SINGH, B.R. (1995): Research priorities in soil management for sustainable land use. Norwegian J. Agric. Sci., Suppl. 21, 125-136.
- LALANDE, R., BIGWANEZA, P.C.; ANTOUN, H. (1990): Symbiotic effectiveness of strains of *Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli* isolated from soils of Rwanda. Plant Soil 121, 41-46.
- LANDSBERG, E.-C. (1981): Organic acid synthesis and release of hydrogen ions in response to iron deficiency stress of mono- and dicotyledonous plant species. J. Plant Nutr. 3, 579-591.
- LANDSBERG, E.-C. (1982): Transfer cell formation in the roots epidermis: a prerequisite for Fe-efficiency? J. Plant Nutr. 5, 415-432.
- LANDSBERG, E.-C. (1984): Regulation of iron-stress-response by whole-plant activity. J. Plant Nutr. 7, 609-621.

-
- LANDSBERG, E.-C. (1994): Transfer cell formation in sugar beet roots induced by latent Fe deficiency. *Plant and Soil* 165, 197-205.
- LASZLO, J.A. (1990): Mineral Contents of soybean seed coats and embryos during development. *J. Plant Nutr.* 13, 231-248.
- LAUER, D.A. (1982): Foliar fertilization of dry beans with Zn and NPKS. *Agron. J.* 74, 339-344.
- LEBARON, M.J. (1974): Developmental stages of the common bean plant. Current Information Series No. 228. University of Idaho. College of Agriculture.
- LEE, E.H.; BENNET, J.H. (1982): Superoxide dismutase. a possible protective enzyme against ozone injury in snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Physiol.* 69, 1444-1449.
- LEE, L.W.; REED, D.W. (1990): Effects of calcium on phytotoxicity of foliar-applied nitrogen salts. *J. Plant Nutr.* 13, 197-200.
- LEHNARDT, F. (1998): Einfluß der Kalkung und Düngung auf den Ionenaustausch und die chemische Zusammensetzung der Bodenlösung am Beispiel von vier Waldstandorten im Hessischen Bergland. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 161, 41-50.
- LEIHNER, E. (1991): Der Beitrag tropischer Wurzel- und Knollenfrüchte für bäuerliche Familienbetriebe und nationale Volkswirtschaften. *Entwicklungs und Ländlicher Raum* 1, 3-7.
- LERER, M.; BAR-AKIVA, A. (1976): Nitrogen constituents in manganese-deficient lemon leaves. *Physiol. Plant.* 38, 13-18.
- LINSER, H. (1969): Wachstum und Ertragsbildung. *Handbuch der Pflanzenernähr. Düngung* Bd. 1. (2. Hälfte). Springer Verlag, Wien.
- LINSER, H., LACH, G.; TITZE, L. (1968): Systemwachstum und Produktwachstum bei Weizen und Ölrettich. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 121, 199-221.
- LOOP, E.A.; FINCK, A. (1984): Total iron as a useful index for the Fe-status of crops. *J. Plant Nutr.* 7, 69-79.
- LUYINDULA, N. (1988): Croissance, production, composition minérale du haricot carencé en oligoéléments. *Agrochimica* 32, 54-62.
- MA, J.F.; NOMOTO, K. (1993): Inhibition of mugineic acid-ferric complex uptake in barley by copper, zinc and cobalt. *Physiol. Plant.* 89, 331-334.

- MAAS, F.M., WETERING van de, D.A.M., BEUSICHEM van, M.L.; BIENFAIT, H.F. (1988): Characterization of phloem iron and its possible role in the regulation of Fe-efficiency reactions. *Plant Physiol.* 87, 167-171.
- MacNAEIDHE, F.S.; FLEMING, G.A. (1990): The effect of zinc and magnesium application on ear density, grain development and grain yield of winter and spring barley (*Hordeum vulgare*) crops on some Irish soils. *Plant Nutrition, Physiology and Applications*. BEUSICHEM van, M.L. (Ed.), 251-255.
- MADAMANCHI, N.R.; ALSCHER, R.G. (1991): Metabolic bases for differences in sensitivity of two pea cultivars to sulfur dioxide. *Plant Physiol.* 97, 88-93.
- MAIBAUM, W.; BELLMANN, B. (1987): Einfluß gestaffelter Zugaben organischer Stoffe zu einem Lehm Boden auf die Hemmung der Oxydation von Dünger- und Bodenammonium durch den nitrifizierenden Wirkstoff CMP (1-Carbamol-3(5)-methylpyrazol) in einem Modellversuch. *Beiträge trop. Landwirtschaft. Veterinärmed.* 25, 367-374.
- MANRIQUE, L.A. (1993a): Crop production in the Tropics. A review. *J. Plant Nutr.* 16, 1485-1516.
- MANRIQUE, L.A. (1993b): Soil management and conservation in the Tropics: indigenous and adapted technology. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24, 1617-1644.
- MANTEY, J.A.; CROWLEY, D.E. (1997): Leaf and root responses to iron deficiency in Avocado. *J. Plant Nutr.* 20, 683-693.
- MANZANARES, M., LUCENA, J.J.; GARATE, A. (1990): Iron(II) determination in leaves of strawberry (*Fragaria vesca*). van BEUSICHEN, M.L. (Ed.), *Plant nutrition, Physiology and Applications*, 805-808.
- MARCELI, L.F.M. (1993): Effect of assimilate supply on the growth of individual cucumber fruits. *Physiol. Plant.* 87, 313-320.
- MARRISON, S.L.; BAIRD, L.M. (1987): Relationship of plant development to nodulation in determinate and indeterminate beans. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112, 510-513.
- MARSCHNER, H. (1985): Nährstoffdynamik in der Rhizosphäre. - Eine Übersicht -. *Ber. Deutsche Bot. Gesellschaft*. Bd. 98, 291-309.
- MARSCHNER, H. (1986): *Mineral Nutrition in Higher Plants*. Academic Press London.
- MARSCHNER, H. (1992): Bodenversauerung und Magnesiumernährung der Pflanzen. Magnesiummangel in Mitteleuropäischen Waldökosystemen. Ed. GLATZEL, G. et al. Symposium 8-9. April 1991 Salzburg. *Forstliche Schriftenreihen*, Universität für Bodenkultur, Wien, 1-15.

- MARSCHNER, H.; CARKMAK, I. (1989): High light intensity enhances chlorosis and nekrosis in leaves of zinc, potassium and magnesium deficient bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. J. Plant Physiol. 134, 308-315.
- MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V. (1994): Strategies of plants for acquisition of iron. Plant and Soil 165, 261-274.
- MARSCHNER, H., RÖMHELD, V., HORST, W.J.; MARTIN, P. (1986): Roots-induced changes in the rhizosphere: Importance for the mineral nutrition of plants. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 149, 441-456.
- MARTIN, P. (1990): Einfluß von Mineralstoffen auf das symbiontische N₂-Bindungssystem bei Leguminosen. Kali-Briefe 20, 93-110.
- MARTINI, J.A.; R.G. MUTTERS, (1985): Effect of lime rates on nutrient availability, mobility, and uptake during the soybean growing season: 2. Calcium, Magnesium, Potassium, Iron, Copper, and Zinc. Soil Sci. 139, 333-343.
- MAY, M.J.; LEAVER, C.J. (1993): Oxidative stimulation of glutathione synthesis in arabis thaliana suspension cultures. Plant Physiol. 103, 621-627.
- MBAGVU, J.S.C. (1986): Effects of soil erosion on the productivity of agricultural lands in the humid tropics. Beiträge trop. Landwirt. und Veterinärmed. 24, 161-175.
- MBAGVU, J.S.C.; LAL, R.; SCOTT, T.W. (1984a): Effects of artificial desurfacing of alfisols and ultisols in Southern Nigeria. I. Crop performance. Soil Sci. Soc. Amer. J. 48, 828-831.
- MBAGVU, J.S.C.; LAL, R.; SCOTT, T.W. (1984b): Effects of artificial desurfacing of alfisols and ultisols in Southern Nigeria. II. Changes in soil physical properties. Soil Sci. Soc. Amer. J. 48, 831-834.
- MEHNE-JAKOBS, B. (1995): The influence of magnesium deficiency on carbohydrate concentrations in Norway spruce (*Picea abies*) needles. Tree Physiology 15, 577-584.
- MENGEL, K. (1962): Die K- und Ca-Aufnahme der Pflanzen in Abhängigkeit vom Kohlenhydratgehalt ihrer Wurzeln. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 98, 44-54.
- MENGEL, K. (1984): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 6., überarbeitete Aufl. VEB G. Fischer Verlag Jena.
- MENGEL, K. (1992): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 7., überarbeitete Aufl. G. Fischer Verlag Jena.
- MENGEL, K. (1994a): Iron availability in plant tissues - iron chlorosis on calcareous soils. Plant and Soil 165, 275-283.

- MENGEL, K. (1994b): Symbiotic dinitrogen fixation - its dependence on plant nutrition and its ecophysiological impact. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 157, 233-241.
- MENGEL, K.; BÜBL, W. (1983): Verteilung von Eisen in Blättern von Weinreben mit HCO_3^- induzierter Fe-Chlorose. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 146, 560-571.
- MENGEL, K., BÜBL, W.; SCHERER, H.W. (1984): Iron distribution in vine leaves with HCO_3^- induced chlorosis. *J. Plant Nutr.* 7, 715-724.
- MENGEL, K.; CASPER, H. (1980): Der Einfluß der Bodenfeuchte auf die Verfügbarkeit von Nitratstickstoff im Boden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 143, 617-626.
- MENGEL, K.; GEURTZEN, G. (1986): Iron chlorosis on calcareous soils, alkaline nutritional condition as the cause for the chlorosis. *J. Plant Nutr.* 9, 161-173.
- MENGEL, K.; GEURTZEN, G. (1988): Relationship between iron chlorosis and alkalinity in *Zea mays*. *Physiol. Plant.* 72, 460-465.
- MENGEL, K.; STEFFENS, D. (1982): Beziehung zwischen Kationen/Anionen-Aufnahme von Rotklee und Protonenabscheidung der Wurzeln. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 145, 229-239.
- MICHAEL, G. (1941): Die Aufnahme und Verteilung des Magnesiums und dessen Role in der höheren Pflanzen. Habilschrift. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 25, 5-118.
- MINCHIN, F.R.; SUMMERFIELD, R.J.; NEVES, M.C.P. (1981): Nitrogen nutrition of cow peas (*Vigna unguiculata*): Effects of timing of inorganic nitrogen applications on nodulation, plant growth and seed yield. *Trop. Agric. (Trinidad)* 58, 1-12.
- MINCHIN, P.E.H.; THORPE, M.R. (1990): Transport of photoassimilate in pea ovules. *J. Exp. Bot.* 41, 1149-1155.
- MIX, G.; MARSCHNER, H. (1974): Mineralstoffverteilung zwischen Chloroplasten und übrigem Blattgewebe. *Z. Pflanzenphysiol.* 73, 307-312.
- MODAIHSH, A.S. (1997): Foliar application of chelated and non-chelated metals for supplying micronutrients to wheat grown on calcareous soils. *Exper. Agric.* 33, 237-245.
- MONGE, E., PÉREZ, C., PEQUERUL, A., MADERO, P.; VAL, J. (1993): Effect of iron chlorosis on mineral nutrition and lipid composition of the thylakoid biomembrane in *Prunus persica* (L.) Bastch. *Plant and Soil* 154, 97-102.
- MORALES, F., GRASA, R., ABADIA, A.; ABADIA, J. (1998): Iron chlorosis paradox in fruit trees. *J. Plant Nutr.* 21, 815-825.
- MORRIS, D.R.; WEAVER, R.W. (1983): Absorption and translocation of foliarly applied ^{15}N by soybeans. *Agron. J.* 75, 572-574.

-
- MORTVEDT, J.J. (1986): Iron sources and management practices for correcting iron chlorosis problems. *J. Plant Nutr.* 9, 961-974.
- MORTVEDT, J.J. (1991): Correcting iron deficiencies in annual and perennial plants: present technologies and future prospects. *Plant and Soil* 130, 273-279.
- MURPHY, L.S.; WALSH, L.M.: Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers. In: *Micronutrients in Agriculture*. 347-387
- MURRAY, D.R. (1987): Nutritive role of seedcoats in developing legume seeds. *Amer. J. Botany* 74, 1122-1137.
- MUTERT, E.; RECKE, H. (1983): Die Bodenreserven der Erde. *Kali-Briefe* 16, 313-322.
- MUTSCHER, H.; ONDONGO, G., (1986): Untersuchungen zum Nährstoffgehalt repräsentativer Böden der Volksrepublik Kongo. *Beitr. trop. Landw. Vet. med.* 24, 259-278.
- NEALES, T.F. (1956): Components of the total magnesium content within the leaves of white clover and perennial ryegrass. *Nature* 177, 388-389.
- NEUMANN, P.M. (1979): Rapid evaluation of foliar fertilizer-induced damage: N, P, K, S on corn. *Agron. J.* 71, 598-602.
- NEUMANN, P.M. (1982): Late-season foliar fertilization with macronutrients - is there a theoretical basis for increased seed yields?. *J. Plant Nutr.* 5, 1209-1215.
- NEUMANN, P.M.; GISKIN, M. (1979): Late season foliar fertilization of beans with NPKS: effects of cytokinins, calcium and spray frequency. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 10, 579-589.
- NEUMANN, P.M.; NOODEN, L.D. (1983): Interaction of mineral and cytokinin supply in control of leaf senescence and seed growth in soybean explants. *J. Plant Nutr.* 6, 735-742.
- NEUMANN, P.M. EHRENREICH, Y.; GOLAB, Z. (1981): Foliar fertilizer damage to corn leaves. Relation to cuticular penetration. *Agron. J.* 73, 979-982.
- NIEGENDER, E.; HECHT-BUCHHOLZ, C. (1983): Elektronenmikroskopische Untersuchungen einer Virusinfektion (BYMV) von *Vicia faba* bei gleichzeitigem Mineralstoffmangel. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 146, 589-603.
- NISHIO, J.N. ABADIA, J.; TERRY, N. (1985): Chlorophyllproteins and electron transport during iron nutrition-mediated chloroplast development. *Plant Physiol.* 78, 296-299.

- NISHIO, J.N. TAYLOR, S.E.; TERRY, N. (1985): Changes in thylakoid galactolipids and proteins during iron nutrition-mediated chloroplast development. *Plant Physiol.* 77, 705-711.
- NJOKU, E.O.; ENWEZOR, W.O. (1991): Differential response of four cassava cultivars (*Manihot esculenta*) to liming of two acid soils in pot and field experiments. *Field Crops Res.* 28, 163-172.
- NOBLE, A.D., SUMNER, M.E.; ALVA, A.K. (1988): The pH dependency of aluminium phytotoxicity alleviation by calcium sulfate. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 52, 1398-1402.
- NORDEN, J. (1982): Blattdüngung - Ergänzung zur Bodendüngung. DLG-Mitteilungen 2.
- OBI, A.O. (1989): Long-term effects of continuous cultivation of a tropical ultisol in southwestern Nigeria. *Exp. Agric.* 25, 207-215.
- OGUNTOYIMBO, F.I., ADUAYI, E.A.; SOBULO, R.A. (1996): Effectiveness of some local liming materials in Nigeria as ameliorants of soil acidity. *J. Plant Nutr.* 19, 999-1016.
- OHKI, K. (1975): Lower and upper critical zinc levels in relation to cotton growth and development. *Physiol. Plant.* 35, 96-100.
- OHKI, K. (1979): Manganese and zinc status related to maximum growth for selected agronomic crops. *Proc. Intern. Seminar Soil Environ. and Fertility Management in intensive Agric. Tokio 1977*, 660-668.
- OHKI, K. (1987): Critical nutrient levels related to plant and some physiological processes. *J. Plant Nutr.* 10, 1583-1590.
- OLSEN, R.A.; BROWN, J.C. (1981): Light-induced reduction of Fe^{3+} as related to causes of chlorosis in cotton. *J. Plant Nutr.* 3, 767-787.
- OLTERSDORF, U. (1992): Hunger, ein Report. Welthungerhilfe, Bonn.
- PAGEL, H. (1981): Grundlagen des Nährstoffhaushaltes tropischer Böden. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- PAGEL, H., ENZMANN, J.; MUTSCHER, H. (1982): Pflanzennährstoffe in tropischen Böden - ihre Bestimmung und Bewertung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- PALANIYANDI, R.; SMITH, C.B. (1979): Effects of nitrogen sources on growth responses and magnesium and manganese leaf concentrations of snap beans. *Comm. Soil Sci. and Plant Anal.* 10, 869-881.

- PAPASTYLIANOU; I. (1990): Effectiveness of iron chelates and FeSO_4 in correcting iron chlorosis of peanuts on calcareous soils. J. Plant Nutr. 13, 555-566.
- PAPASTYLIANOU; I. (1993): Timing and rate of iron chelate application to correct chlorosis of peanut. J. Plant Nutr. 16, 1193-1203.
- PARK, S.J.; BUTTERY, B.R. (1989): Identification and characterisation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines well nodulated in the presence of high nitrate. Plant and Soil 119, 237-244.
- PARKER, M.B.; BOSWELL, F.C. (1980): Foliage injury, nutrient intake, and yield of soybeans as influenced by fertilization. Agron. J. 72, 110-113.
- PATE, J.S.; MINCHIN, F.R. (1980): Comparative studies of carbon and nitrogen nutrition of selected grain legumes. Advances in Legume Science. S. 105-114. Ed. SUMMERFIELD, R.J. and BUNTING, A.H.
- PEASLEE, D.E.; MOSS, D.N. (1966): Photosynthesis in K- and Mg-deficient maize (*Zea mays* L.) leaves. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 220-223.
- PECHAN, P.M.; WEBSTER, B.D. (1986): Flower and pod set of *Phaseolus vulgaris* under controlled environment conditions. HortSci. 21, 989-991.
- PEOPLES, M.B., HERRIDGE, D.F.; LADHA, J.K. (1995): Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production?. Plant and Soil 174, 3-28.
- PEOPLES, M.B., LADHA, J.K.; HERRIDGE, D.F. (1995): Enhancing legume N_2 fixation through plant and soil management. Plant and Soil 174, 3-28.
- PEREIRA, P.A.A.; BLISS, F.A. (1987): Nitrogen fixation and plant growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at different levels of phosphorus availability. Plant and Soil 104, 79-84.
- PERUR, N.G., SMITH, R.L.; WIEBE, H.H. (1961): Effect of iron chlorosis on protein fractions of corn leaf. Plant Physiol. 39, 862-867.
- PESCHKE, H.; MOLLENHAUER, S. (1998): N_{min} -Gehalt im Boden, mineralische N-Düngung und N-Entzug von Winterweizen im Internationalen Organischen Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Berlin-Dahlem. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 161, 9-15.
- PIGEAIRE, A., DELANE, R. SEYMOUR, M.; ATKINS, C.A. (1992): Predominance of Flowers and newly formed Pods in reproductive Abscission of *Lupinus angustifolius* L.. Aust. J. Agric. Res. 43, 1117-1129.
- PIHA, M.I.; MUNNS, D.N., (1987): Nitrogen fixation of field-grown bean compared to other grain legumes. Agron. J. 79, 690-696.

-
- PIMENTEL, D.; CULLINEY, T.W.; BUTTLER, I.W.; REINEMANN, D.J.; BECKMAN, K.B. (1989): Low-input sustainable agriculture using ecological practices. *Agric., Ecosyst. Envir.* 27, 2-24.
- PLATT-ALOIA, K.A., THOMSON, W.W.; TERRY, N. (1983): Changes in plastid ultrastructure during iron nutrition-mediated chloroplast development. *Protoplasma* 114, 85-92.
- POMMER, G. (1985): Überlegungen zu einem Ackerbohnen-Idiotyp. *Kali-Briefe* 17, 531-542.
- POMMER, G.; KEYDEL, F. (1980): Kritische Studien in der Ertragsbildung des Getreides und deren Abhängigkeit von der phylogenetischen Herkunft. *Kali-Briefe* 15, 211-221.
- POOLE, W.D.; RANDALL, G.W.; HAM, G.E. (1983a): Foliar fertilization of soybeans. I Effect of fertilizer sources, rates, and frequency of application. *Agron. J.* 75, 195-200.
- POOLE, W.D.; RANDALL, G.W.; HAM, G.E. (1983b): Foliar fertilization of soybeans. II Effect of biuret and application time of day. *Agron. J.* 75, 201-203.
- POWLES, S.B. (1984): Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 35, 15-44.
- PRINCE, A.L., ZMMERMANN, M.; BEAR, F.E. (1947): The magnesium-supplying power of 20 New Jersey soils. *Soil Sci.* 63, 69-78.
- PRINZ, D. (1986): Ökologisch angepaßte Produktionssysteme. Erhaltung und Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktivität in den Tropen und Subtropen. *Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern* Bd 3, 115-168.
- PUSHNIK, J., MILLER, G.; GIANNINI, J. (1984): Reestablishment of photochemical activities in iron chlorotic leaves by foliar iron application. *Proc. VIth Internat. Coll. for the Optimization of Plant Nutrition*, (4) 1229-1238. Montpellier/France.
- PUSHNIK, J.C.; MILLER, G.W. (1982): The effects of iron and light treatment on chloroplast composition and ultrastructure in iron-deficient barley leaves. *J. Plant Nutr.* 5, 311-321.
- RABIE, R.K. (1981): Nitrogen nutrition of legumes with special concern to seed yield production. *J. Plant Nutr.* 4, 175-194.
- RAHIMI, A.; BUSSLER, W. (1978): Makro- und Mikrosymptome des Zinkmangels bei höheren Pflanzen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 141, 567-581.

- RAHIMI, A.; BUSSLER, W. (1979): Die Entwicklung und der Zn-, Fe- und P-Gehalt höherer Pflanzen in Abhängigkeit vom Zinkangebot. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 142, 15-27.
- RAHIMI, A.; SCHROPP, A. (1984): Carboanhydrase-Aktivität und extrahierbares Zink als Maßstab für die Zink-Versorgung von Pflanzen. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 147, 572-583.
- RAMON, A.M.; CARPENA-RUIZ, R.O.; GARATE, A. (1990): The effects of short-term deficiency of boron on potassium, calcium, and magnesium distribution in leaves and roots of tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants. In: Plant Nutrition, Physiology and Applications. van beusicheM, m.l. (Ed.), 287-290.
- RANDALL, G.W.; SCHULTE, E.E.; COREY, R.B. (1975): Effect of soil and foliar-applied manganese on the micronutrient content and yield of soybeans. Agron. J. 67, 502-506.
- REED, D.W. (1988): Effect of urea, ammonium and nitrate on foliar absorption of ferric citrate. J. Plant Nutr. 11, 1429-1437.
- REED, D.W., LYONS, C.G.; McEACHERN, G.R. (1988): Field evaluation of inorganic and chelated iron fertilizers als foliar sprays and soil application. J. Plant Nutr. 11, 1369-1378.
- REILLY, M. L. (1984): Foliar nutrition of cereal crops. Proc. VIth Intern. Colloq. for the Optimization of Plant Nutrition, (2) 499-506, Montpellier/France.
- REINBOTT, T.M.; BLEVINS, D.G. (1995): Response of soybean to foliar-applied boron and magnesium and soil-applied boron. J. Plant Nutr. 18, 179-200.
- RENNIE, J.R.; KEMP, G.A. (1983): Dinitrogen fixation in pea beans (*Phaseolus vulgaris*) as affected by growth stage and temperature regime. Can. J. Bot. 59, 1181-1188.
- RENTSCHLER, I. (1971): Die Wasserbenetzbarkeit von Blattoberflächen und ihre submikroskopische Wachsstruktur. Planta 96, 119-135.
- ROMERA, F. J., ALCANTARA, E.; de la GUARDIA, M. D. (1992): Role of roots and shoots in the regulation of the Fe efficiency responses in sunflower and cucumber. Physiol. Plant. 85, 141-146.
- RÖMHELD, V. MARSCHNER, H.; KRAMER D. (1982): Response to iron deficiency in Roots of „Fe-efficient“ plant species. J. Plant Nutr. 5, 489-498.
- RUPPE, J. (1986): Einfluß verschiedener Faktoren auf die extraradiculäre Aufnahme und Verwertung von Kupfer und Mangan bei Weizen (*Triticum aestivum* L.). Promotionsarbeit aus dem Institut f. Pflanzenernährung der AdL. DDR, Jena.

- RUPPE, J.; PODLESACK, W. (1992a): Der zeitliche Verlauf der Aufnahme von Kupfer und Mangan durch den Sproß junger Weizenpflanzen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 155, 35-38.
- RUPPE, J.; PODLESACK, W. (1992b): Kupferaufnahme aus sproßapplizierten Kupferpräparaten durch Weizenpflanzen junger Weizenpflanzen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 155, 39-42.
- SAFAYA, N. M. (1976): Phosphorus-zinc interaction in relation to absorption rates of phosphorus, zinc, copper, manganese and iron in corn. Soil Sci. Soc. Amer. J. 40, 719-722.
- SANCHEZ, P.A. BANDY, D.E. VILLACHICA, J.H.; NICHOLAIDES, J.J. (1982): Amazon Basin soils: management for continuous crop production. Science 216, 821-827.
- SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. (1981): Low input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. Adv. Agron. 34, 279-406.
- SARKAR, A. N.; WYN JONES, R. G. (1982): Effect of rhizosphere on the nutrient status of draw French beans. Plant and Soil 64, 364-380.
- SATHILAYAMOORTHY, P.; VIVEKANANDAN, M. (1988): Cumulative effects of pre-sowing seed treatment and foliar application of salts in improving biomass and grain yield of soybean in moderate saline/alkaline soil. J. Agron. Crop Sci. 161, 107-113.
- SATTELMACHER, B. HORST, W.J.; BECKER, H. C. (1994): Factors that contribute to genetic variation for nutrient efficiency of crop plants. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 157, 215-224.
- SAUERBECK, D., NONNEN, S.; ALLARD, J.-L. (1980): Assimilateverbrauch und -umsatz im Wurzelraum in Abhängigkeit von Pflanzenart- und anzahl. Landw. Forschung 37, 207-216.
- SCHAAF, W.; ZECH, W. (1993): Düngung mit gebranntem Magnesit und Magnesiumhydroxid zur Standortmelioration in einem stark geschädigten Fichtenökosystem. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 156, 357-364.
- SCHERER, H. W.; HÖFNER, W. (1980a): Einfluß von Fe- und Mn-Mangel auf den Kationen- und Anionengehalt von Mais und Sonnenblumen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 143, 26-37.
- SCHERER, H. W.; HÖFNER, W. (1980b): Wechselwirkungen von Fe, Mn und Zn bei Aufnahme und Transport durch Mais (*Zea mays* L.) und Sonnenblumen (*Helianthus annuus* L.). Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 97, 25-34.

- SCHILLING, G.; TROBISCH, S. (1970): Einfluß zusätzlich später Stickstoffgaben auf die Ertragsbildung von Kruziferen in Gefäß- und Feldversuchen. Albrecht-Thaer-Arch. 14, 739-750.
- SCHMIDT, G. (1996): Die weltweite Ernährungslage spitzt sich zu. Ökologie und Landbau 98, 6-10.
- SCHNUG, E.; FINCK, A. (1980) Einfluß unterschiedlicher Stickstoffdüngerformen auf die Mobilisierung von Spurennährstoffen. Landw. Forschung 37, 243-253.
- SCHON, M. K.; BLEVINS, D. G. (1990): Foliar boron applications increase the final number of branches and pods on branches of field-grown soybeans. Plant Physiol. 92, 602-607.
- SCHONBECK, M. W., HSU, F.C.; CARLSEN, T. M. (1986): Effect of pod number on dry matter and nitrogen accumulation and distribution in soybean. Crop Sci. 26, 783-788.
- SCHÖNER, S.; KRAUSE, H. (1990): Protective systems against active oxygen species in spinach: response to cold acclimation in excess light. Planta 180, 383-389.
- SCHUG W.; LEON, J; GRAVERT, H.O. (1996): Welternährung. Darmstadt
- SEYVERUD, T. D.; WALSH, L. M.; OPLINGER, E.S.; KELLING, K.A. (1980): Foliar Fertilization of Soybeans (*Glycine max* L.). Commun. Soil Sci. Plant Anal. 11, 637-651.
- SHAFER, W. E.; REED, D. W. (1986): The foliar absorption of potassium from organic and inorganic potassium carriers. J. Plant Nutr. 9, 143-157.
- SHARMA, K. P.; KANWAR, R. S. (1985): Effect of micronutrients on some biochemical activities of high-sucrose variety of sugarcane grown in calcareous sandy soils. Trop. Agric. (Trinidad) 62, 334-338.
- SHETTY, S. A.; MILLER, G. W. (1966): Influence of iron chlorosis on the pigment and protein metabolism in leaves of *Nicotina tabacum* L. Plant Physiol. 41, 415-421.
- SHGHERI, C.L.M., PINZINO, C.; NAVARI-IZZIO, F. (1993): Chemical changes and O_2^- production in thylakoid membranes under water stress. Physiol. Plant. 87, 211-216.
- SIEBERT, F.S.; SCOTT, T.W. (1990): Influence of topsoil and fertilizer application on peanut yields from Indonesian Ultisol. Agric., Ecosyst. Envir. 32, 213-221.
- SINCLAIR, T.R.; de WIT, C.T. (1976): Analysis of the carbon and nitrogen limitations to soybean yield. Agron. J. 68, 319-324.

-
- SINGH, A.L.; DAYAL, D. (1992): Foliar application of iron for recovering groundnut plants from lime-induced iron deficiency chlorosis and accompanying losses on yields. *J. Plant Nutr.* 15, 1421-1433.
- SISWORO, W. H., MITROSUHARDJO, M. M., RASJD, H.; MYERS, R. J. K. (1990): The relative roles of N fixation, fertilizer, crop residues and soil in supplying N in multiple cropping system in a humid, tropical upland cropping system. *Plant Soil* 121, 73-82.
- SLIPCEVIC, V. VEDINA-DRAGOJEVIC, I., BALINT, L.; MOMIROVIC-CULJAT, J. (1992a): Dynamics of the cumulation of macrolelements phosphorus, potassium, calcium and magnesium during development to maturity of soybean seed. *J. Agron. Crop Sci.* 168, 73-84.
- SLIPCEVIC, V. VEDINA-DRAGOJEVIC, I.; BALINT, L. (1992b): Dynamics of the cumulation of iron, copper and sodium during development to maturity of soybean seed. *J. Agron. Crop Sci.* 170, 224-233.
- SMALING, E.M.A., NANDWA, S.M., PRESTELE, H., ROETTER, R.; MUCHENA, F.N. (1992): Yield response of maize to fertilizers and manure under different agro-ecological conditions in Kenya. *Agric. Ecosyst. Envir.* 41, 241-252.
- SMITH, M.W.; STOREY J.B. (1976): The influence of washing procedures on surface removal and leaching of certain elements from pecan leaflets. *HortSci.* 11, 50-52.
- SMYTH, J.T.; CRAVO, M.S. (1989) Gypsum application. In *Tropsoils Technical Report 1986-1987*, 150-151. Tropsoils, Soils Management and collaborative Research Support Programm, North Carolina State University. North Carolina, USA.
- SOLTANPOUR, P.N., MALAKOUTI, M.J.; RONAGHI, A. (1995): Comparison of diagnosis and recommendation integrated system and nutrient sufficiency range for corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 133-139.
- SOMMER, K.; SCHULTE, M. (1986): Foliar fertilization to small grains during the period of ripening. In: *Foliar Fertilization*. ALEXANDER, A.(Ed.), 388-407.
- SPARKS, D. (1986a): Effects of magnesium sulfate sprays on the growth and elemental concentration of pecan seedlings. *HortSci.* 21, 108-109.
- SPARKS, D. (1986b): Growth and nutrition of Pecan seedlings from potassium phosphate foliar sprays. *HortSci.* 21, 451-453.
- SPLLER, S.; TERRY, N. (1980): Limiting factors in photosynthesis. II. Iron stress diminishes photochemical capacity by reducing the number of photosynthetic units. *Plant Physiol.* 65, 121-125.

- SSALI, H.; KEYA, S. O. (1986): The effects of phosphorus and nitrogen fertilizer level on nodulation, growth and dinitrogen fixation of three bean cultivars. Trop. Agric. (Trinidad) 63, 105-109.
- STEIN, L.A.; STOREY, J.B. (1986): Influence of adjuvants on foliar absorption of nitrogen and phosphorus by soybeans. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111, 829-832.
- STEUCECK, G.L.; KOONTZ, H.V. (1970): Phloem mobility of magnesium. Plant Physiol. 46, 50-52.
- STOY, V. (1979): Trockensubstanzproduktion und Assimilateinlagerung in das Getreidekorn. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 140, 35-50.
- SUWANVESH, T.; MORRILL, L. G. (1986): Foliar application of phosphorus to Spanish peanuts. Agron. J. 78, 54-58.
- SWIETLIK, D.; LADUKE, J. V. (1993): Productivity, growth, and leaf mineral composition of orange and grapefruit trees foliar-sprayed with zinc and manganese. J. Plant Nutr. 14, 129-142.
- TAMAS, I.A., WALLACE, D.H., LUDFORD, P.M.; OZBUN, J.L. (1979): Effect of older fruits on abortion and abscisic acid concentration of younger Fruits in *Phaseolus vulgaris* L.. Plant Physiol. 64, 620-622.
- TAYO, T. O. (1981): Studies on the effects of foliar spray of nutrients on the performance of cow peas (*Vigna unguiculata* L. Walp.). J. Agric. Sci. Camb. 96, 375-388.
- TAYO, T. O. (1986a): Flower and pod production at various nodes of *Phaseolus vulgaris* L.. J Agric. Sci. Camb. 107, 29-36.
- TAYO, T. O. (1986b): The response of cow pea (*Vigna unguiculata* L. WALP.) to foliar sprays of nitrogen during the reproductive stage of development. Field Crops Res. 14, 181-191.
- TERRY, N. (1980): Limiting factors in photosynthesis. I. Use of iron stress to control photochemical capacity in vivo. Plant Physiol. 65, 114-120.
- TERRY, N.; ABADIA, J. (1986): Function of iron in chloroplasts. J. Plant Nutr. 9, 609-646.
- TERRY, N.; ULRICH, A. (1974): Effects of magnesium deficiency on the photosynthesis and respiration of leaves of sugar beet. Plant Physiol. 54, 379-381.
- THENG, B.K.G. (1991): Soil science in the Tropics - The next 75 Years. Soil Sci. 151, 76-90.

- THOMSON, C. J., MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V.(1993): Effect of nitrogen fertilizer form on pH of the bulk soil and rhizosphere, and on the growth, phosphorus, and micronutrient uptake of bean. J. Plant Nutr. 16, 493-506.
- TILLS, A.R.; ALLOWAY, B.J. (1981): Subclinical copper deficiency in crops on the Breckland in East Anglia. J. Agric. Sci. Camb. 97, 473-476.
- TOMAR, J.S., MACKENZIE, A.F., MEHUYS, G.R.; ALLI, I. (1988): Corn growth with foliar nitrogen, soil-applied nitrogen, and legume intercrops. Agron. J. 80, 802-807.
- TREEBY, M.; UREN, N. (1993): Iron deficiency stress responses amongst citrus rootstocks. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 156, 75-81.
- TREEBY, M., MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V. (1989): Mobilization of iron and other micronutrient cations from a calcareous soil by plant-borne, microbial and synthetic metal chelators. Plant and Soil 114, 217-226.
- TRIER, K.; BERGMANN, W. (1974): Zur Diagnose des Zinkmangels bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Arch. Acker- Pflanzenbau und Bodenkd. 18, 53-63.
- UEXKÜLL v. H.R.; MUTERT, E. (1995): Global extent, development and economic impact of acid soils. Plant and Soil 171, 1-15.
- UEXKÜLL v. H.R. (1986): Efficient fertilizer use in acid upland soils of the humid tropics. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 10 (59 S.).
- VAAST, P.; ZASOSKI, R.J. (1992): Effects of VA-mycorrhizae and nitrogen sources on rhizosphere soil characteristics, growth and nutrient acquisition of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.). Plant and Soil 147, 31-19.
- VASILAS, B. L., LEGG, J.O.; WOLF, D.C. (1980): Foliar fertilization of Soybeans: Absorption and Translocation of ¹⁵N-labeled Urea. Agron. J. 72, 271-275.
- VENKAT-RAJU, K., MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V. (1972): Effect of iron nutritional status on iron uptake, substrate pH and production and release of organic acids and riboflavine by sunflower plants. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 133, 227-241.
- VESK, M., POSSINGHAM, J.V.; MERCER, F.V. (1966): The effect of mineral nutrient deficiencies on the structure of the leaf cells of tomato, spinach and maize. Aust. J. Botany 14, 1-18.
- VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S.T.A. (1998): Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. J. Plant Nutr. 21, 169-180.

-
- VIETS, F.G., BOAWN, Jr., L.C.; CRAWFORD, C.L. (1954): Zinc contents and deficiency symptoms of 26 crops grown on a zinc-deficient soil. *Soil Sci.* 78, 305-316.
- VOUNDI NKANA, J.C., DEMEYER, A. BAERT, G., VERLOO, M.G.; VAN RAST E. (1997): Chemical fertility aspects influenced by the mineralogical composition of some acid tropical soils of the forest zone central Cameroon. *Agrochemica* 41, 209-219.
- VOSE, P.B. (1983): Rationale of selection for specific nutritional characters in crop improvement with *Phaseolus vulgaris* L. as a case study. *Plant and Soil* 72, 351-364.
- WALLACE, A. (1986): Definition of stresses in crop production. Iron, plant nutrient, and non nutrient stress interactions. *J. Plant Nutr.* 9, 187-192.
- WALLACE, A. (1991): Rational approaches to control of iron deficiency other than plant breeding and choice of resistant cultivars. *Plant and Soil* 130, 281-288.
- WALLACE, A.; SAMMAN, Y.S. (1982): Legal consideration involving chemical control of iron and other deficiencies in plants. *J. Plant Nutr.* 5, 979-986.
- WALLACE, A.; WALLACE, G.A. (1983): Foliar fertilization with metalosates. *J. Plant Nutr.* 6, 551-557.
- WALLACE, A.; WALLACE, G.A. (1992): Some of the problems concerning iron nutrition of plants after four decades of synthetic chelating agents. *J. Plant Nutr.* 15, 1487-1508.
- WALLACE, A., ELGAZZAR, A. A., CHA, J. W.; ALEXANDER, G. V. (1974): Phosphorus levels vs. concentrations of zinc and other elements in bush bean plants. *Soil Sci.* 117, 347-351.
- WALLACE, A.; WALLACE, G. A.; ABOU-ZAMZAM, A. M. (1984): Experiments on the Correcting of Iron deficiency in Plants. *J. Plant Nutr.* 7, 211-222.
- WALLACE, G.A.; WALLACE, A. (1982): Micronutrients uptake by leaves from foliar sprays of EDTA chelated metals. *J. Plant Nutr.*, 5, 975-978.
- WALWORTH, J. L.; CECCOTT, S. (1990): A re-examination of optimum foliar magnesium levels in corn. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 21, 1457-1473.
- WALWORTH, J. L.; SUMMER, M.E. (1987): The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Adv. Soil Sci.* 6, 149-188.
- WEBB, M.J.; LONERAGAN, J.F. (1988): Effect of zinc deficiency on growth, phosphorus concentration, and phosphorus toxicity of wheat plants. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 1676-1680.

- WEBSTER, D.H. (1985): Comparison of magnesium sulfate and THIS Mg chelate foliar sprays; response of Mg-deficient Beautiful arcade apple seedlings. Can. J. Plant Sci. 65, 131-136.
- WEINSCHENK, G. (1995): Zwischen Knappheit, Umweltzerstörung und Überschuß. Landwirtschaft auf dem Weg ins 21. Jahrhundert. Agrarwirtschaft 44, 331-335.
- WEISKOPF, B.; de HAAS, H.-J. (1993): Die Internationale Agrarforschung und ihr Beitrag zur Ernährungssicherung und Armutsbekämpfung. Bundesministerium f. Wirtschaftliche Zusammenarbeit. Entwicklung & Zusammenarbeit 6, 28-30.
- WELCH, R. M., NORVELL, W.A., SCHAEFER, S. C., SHAFF, J. E.; KOCHIAN, L.V. (1993): Induction of iron(III) and copper(II) reduction in pea (*Pisum sativum* L.) roots by Fe and Cu status: Does the root-cell plasmalemma Fe(III)-chelate reductase perform a general role in regulating cation uptake?. Planta 190, 555-561.
- WESSELMANN, A. (1987): Zum Einfluß der Tageslänge auf die Knöllchenbildung bei Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) und Platterbsen (*Lathyrus sativus* L.). Diss. FB 15, TU Berlin.
- WESTERMANN, D.T.; KLEINKOPFF, G.E., PORTER, L.K.; LEGGETT, G.E. (1981): Nitrogen sources for bean seed production. Agron. J. 73, 660-664.
- WESTERMANN, D.T.; PORTER, L.K.; ODEEN, W.A. (1985): Nitrogen Partitioning and Mobilization Patterns in Bean Plants. Crop Science 25, 225-229.
- WHATLEY, J.M. (1971): Ultrastructural changes in chloroplasts of *Phaseolus vulgaris* during development under conditions of nutrient deficiency. New Phytol. 70, 725-742.
- WHITE, P. F.; ROBSON, A. D. (1989): Rhizosphere acidification and Fe^{3+} reduction in lupins and peas: Iron deficiency in lupins is not due to a poor ability to reduce Fe^{3+} . Plant and Soil 119, 163-175.
- WIREN v. N., MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V. (1996): Roots of iron-efficient maize also absorb phytosiderophore-chelated zinc. Plant Physiol. 111, 1119-1125.
- WISE, R. R.; NAYLOR, A. W. (1987): Chilling-enhanced photooxidation. Evidence for the role of singlet oxygen and superoxide in the breakdown of pigments and endogenous antioxidants. Plant Physiol. 83, 278-282.
- WITTWER, S.H.; BUKOVAC, M.J. (1969): The uptake of nutrients through leaf surfaces. Handbuch Pflanzenernähr. Düngung Bd.1, 235-259.
- WITTWER, S.H.; TEUBNER, F.G. (1959): Foliar absorption of mineral nutrients. Plant Physiol. 10, 13-32.

- WOLFF, P. (1995): Überlegungen zur künftigen Entwicklung des Landschaftswasserhaushaltes in Tropen. Z. Bewässerungswirtschaft 2, 131-146.
- WOON, C.K.; PORTER, O.A. (1986): Effect of foliar fertilizers on the growth of soybean cultivars. J. Agron Crop Sci. 157, 79-85.
- XIA, M. Z. (1993): The relationship between sugar-nitrogen ratio and reproductive organs abscission in faba bean (*Vicia faba* L.). J. Agron. Crop Sci. 170, 348-353.
- YAMOAHA, C. F., BURLEIGH, J. R.; MALCOLM, M. R. (1990): Application of expert systems to study of acid soils in Rwanda. Agric. Ecosyst. Envir. 30, 203-218.
- YILMAZ, A., EKIZ, H., TORUN, B., GÜLTEKIN, I., KARANLIK, S., BAGCI, S. A.; CAKMAK, I. (1997): Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. J. Plant Nutr. 20, 461-471.
- ZAITER, H. Z., COYNE, D. P. CLARK, R. B., LINDGREN, D. T., NORDQUIST, P. T., STROUP, W. W.; PAVLISH, L. A. (1992): Leaf chlorosis and yield of dry beans grown on high-pH calcareous soil following foliar iron sprays. HortSci. 27, 983-985.
- ZAITER, H.Z., COYNE, D.P.; CLARK, R.P. (1988): Genetic variation, heritability and selection response to iron deficiency chlorosis in dry beans. J. Plant Nutr. 11, 739-746.
- ZAITER, H.Z., SAAS, I.; NIMAH, M. (1993): Yield of iron-sprayed and non-sprayed strawberry cultivars grown on high pH calcareous Soil. J. Plant Nutr. 16, 281-296.
- ZHANG, F., RÖMHELD, V.; MARSCHNER, H. (1991a): Role of the apoplasm for iron acquisition by wheat plants. Plant Physiol. 97, 1302-1305.
- ZHANG, F., RÖMHELD, V.; MARSCHER, H. (1991b): Release of zinc mobilizing root exudates in different plant species as affected by zinc nutritional status. J. Plant Nutr. 14, 675-686.
- ZOCCHI, G.; COCUCCHI, S. (1990): Fe-uptake mechanism in Fe-efficient cucumber roots. Plant Physiol. 92, 908-911.

Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, daß ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe verfaßt und andere als die angegebenen Hilfsmittel nicht verwendet habe. Ich erkläre außerdem, daß ich die Arbeit erstmalig und nur an der Humboldt-Universität zu Berlin eingereicht habe.

Berlin, im September 1998

Antoine Mpabansi

Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen eines breit angelegten Forschungsprojektes zur Problematik der Optimierung der Nährstoffversorgung von Nutzpflanzen auf sog. Problemstandorten in den Tropen und Subtropen unter Leitung von Herrn Prof. Dr. H.-W. Döring am Fachbereich Internationale Agrarentwicklung der TU Berlin (FG Pflanzenernährung). An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor Döring für meine Aufnahme in sein Arbeiterteam und für die Überlassung des Themas meinen aufrichtigen Dank aussprechen. Ich danke ihm für seine Geduld und Unterstützung in jeder Hinsicht, für seine Hilfsbereitschaft bei der endgültigen Abfassung der Arbeit und vor allem sein Verständnis für die persönlichen Schicksalsschläge, die im Laufe der Arbeit aufgetreten sind und den Abschluß verzögert haben.

Ganz herzlich danke ich Herrn Prof. Dr. H.-E. Jahnke für die freundliche Übernahme des Vorsitzes des Promotionsverfahrens und Herrn Prof. Dr. H. Peschke für die freundliche Übernahme des Koreferates.

Allen Angehörigen des Institutes danke ich herzlich für ihre Hilfsbereitschaft in fachlicher wie menschlicher Hinsicht. Ganz besonders bedanke ich mich bei Frau S. Reckling-Grammerstorf (†) für Ihre Hilfe bei der Versuchsdurchführung und bei der fotografischen Dokumentation der Arbeit sowie bei Frau S. Meier und Frau L. Lin für ihre großzügige Unterstützung bei den chemischen Analysen. Frau Dr. E. S. Fischer, Herrn B. Denker und Herrn T. Speck danke ich für ihre motivierenden Diskussionen und Anregungen. Zu einem besonderen bin ich Herrn Dr. R. Gericke für seine tatkräftige Unterstützung bei der redaktionellen Überarbeitung der Arbeit und Herrn Dr. J.-D. Deloud für seine Hilfe bei der Erstellung der Grafiken verpflichtet.

Viele Freunde haben zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Für ihre Aufmerksamkeit danke ich Aurélie Nduwayo, Bernd Denker, Damase Muganga, Evariste Sinzinkayo, Heidemarie Erdmann, Germain Harelimana, Günter Hudasch, Jean-Darius Deloud, Michael Weyrauch, Paul da Silva, Rainer Gericke, Sebastian Okello und Thomas Bararugurika.

Last but not least möchte ich mich bei meiner Frau Chantal für ihre Geduld und ihr Verständnis in der Endphase der Arbeit von ganzem Herzen bedanken.

Schließlich danke ich der Otto-Benecke-Stiftung Bonn für die zeitweise finanzielle Förderung der Arbeit.

Lebenslauf:

Geboren: am 30. 12.1955 in Muyinga (Burundi)
Staatsangehörigkeit: Burundi
Familienstand: Verheiratet



Schulbildung

1961 – 1970: Grundschule in Muyinga
1970 – 1973: Oberschule (1. Stufe) am Kleinen Priesterseminar Muyinga
1973 – 1976: Oberschule (2. Stufe) am Collège Notre-Dame Gitega

Tätigkeit

1977 – 1979: Verwaltungstätigkeit im Gesundheitsministerium in Bujumbura

Studium

1979 – 1980: Deutschunterricht und Vorbereitung auf das Studium am Herder-Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig
1980 – 1985: Studium am Institut für Tropische Landwirtschaft der Karl-Marx-Universität Leipzig
Abschluß: Dipl.-Ing. agr.

Tätigkeit und Weiterbildung

1986 – 1991: Wissenschaftliche Mitarbeit am Fachbereich Internationale Agrarentwicklung, Institut für Nutzpflanzenforschung (FG Pflanzenernährung) der TU Berlin im Rahmen eines Forschungsprojektes zur Optimierung der Nährstoffversorgung von Nutzpflanzen auf sog. Problemstandorten in den Tropen und Subtropen unter Leitung von Herrn Prof. Dr. H.-W. Döring. Beginn einer Dissertation.
1991 – 1994: Ehrenamtliche Mitarbeit in einer Non-Profit-Organisation (CSPB e.V. Berlin)
1995 – 1996: Fortbildung am Institut für Datenverarbeitung und Betriebswirtschaft Berlin.
1997 – 1998: Durchführung ergänzender Untersuchungen am Institut für Pflanzenbauwissenschaften (FG Pflanzenernährung) der Humboldt-Universität Berlin und Fertigstellung der Dissertation.